SÉRIE A, N° 4016
N° D'ORDRE : 4867

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Mohan JOSHI

1re THÈSE : Mesures précises de position des radiosources à 169 Mc/s.

2e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 7 décembre 1962 devant la Commission d'examen.

MM. DANJON *Président.*
SCHATZMAN, DELCROIX } *Examinateurs.*

SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S.
13, Quai Anatole-France
PARIS 7e

Série A, N° 4016
N° d'ordre : 4867

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Mohan JOSHI

1re THÈSE : Mesures précises de position des radiosources à 169 Mc/s.

2e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 7 décembre 1962 devant la Commission d'examen.

MM. DANJON *Président.*
SCHATZMAN, DELCROIX } *Examinateurs.*

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S.
13, Quai Anatole-France
PARIS 7e

Doyen. . . . . . M. ZAMANSKY

PROFESSEURS

G. JULIA. . . . . T Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
DE BROGLIE . . . T Théories physiques.
PRENANT. . . . . T Anatomie et Histologie comparées.
GRASSÉ . . . . . T Évolution des êtres organisés.
PRÉVOST. . . . . T Chimie organique.
CHAUDRON. . . . T Chimie appliquée.
WYART . . . . . T Minéralogie et Cristal.
TEISSIER. . . . . T Zoologie.
MANGENOT. . . . T Biologie végétale (Orsay).
AUGER. . . . . T Physique quantique et Relativité.
MONNIER. . . . . T Physiologie Générale.
PIVETEAU . . . . T Paléontologie.
ROCARD . . . . . T Physique (E. N. S.).
CARTAN . . . . . T Mathématiques (E. N. S.).
LAFFITTE . . . . T Chimie générale.
FAVARD . . . . . T Géométrie supérieure.
COULOMB. . . . . T Physique du Globe.
Mlle COUSIN . . . T Biologie Animale (S. P. C. N.).
CHRÉTIEN . . . . T Chimie minérale.
DRACH. . . . . T Zoologie.
KASTLER. . . . . T Physique (E. N. S.).
ÉPHRUSSI . . . . T Génétique.
RIVIÈRE. . . . . T Géologie (S. P. C. N.) et sédim.
GAUTHERET . . . T Biologie Végétale (P. C. B.).
LUCAS R. . . . . T Recherches Physiques.
THOMAS A. . . . . T Biologie cellulaire.
ARNULF . . . . . T Optique appliquée.
MORAND. . . . . T Physique Enseignement.
SOLEILLET. . . . T Physique (P. C. B.).
FORTIER. . . . . T Mécanique expérimentale des fluides.
DANJON. . . . . T Astronomie.
PETIT. . . . . T Biologie maritime.
QUENEY. . . . . T Météorologie et dynamique atmosphérique.
GALLIEN. . . . . T Embryologie.
EICHHORN . . . . T Botanique.
DE CUGNAC . . . T Biologie végétale (S. P. C. N.).
Mlle CAUCHOIS . . T Chimie Physique.
THELLIER . . . . T Physique du Globe.
L'HÉRITIER . . . T Biologie Générale (Orsay).
GRIVET . . . . . T Radioélectricité (Orsay).
PONCIN . . . . . T Mécanique Générale.
DUBREIL. . . . . T Arithmétique et théorie des Nombres.
QUELET . . . . . T Chimie Organique.
CAGNIARD . . . . T Géophysique appliquée.
CHAMPETIER . . . T Chimie macromoléculaire.
CUVILLIER. . . . T Micropaléontologie.
JUNG . . . . . T Pétrographie.
TRILLAT. . . . . T Microscopie et diffraction électronique.
WIEMANN . . . . T Chimie organique et structurale.
JACQUINOT. . . . T Spectroscopie et physique céleste (Orsay).
VASSY. . . . . T Physique de l'atmosphère.
DESTOUCHES. . . T Théories Physiques.
AMIEL. . . . . T Chimie générale.
HOCART . . . . . T Minéralogie et Cristallographie.
J. P. MATHIEU . . T Physique (Optique).
COUTEAUX. . . . T Biologie animale (P. C. B.).
MAY. . . . . T Zoologie (Orsay).
CHOQUET. . . . . T Théorie des fonctions et Topologie.
FELDMANN. . . . T Biologie végétale marine.
GUINIER. . . . . T Physique des Solides (Orsay).
JOST . . . . . T Physiologie comparée.
FORTET . . . . . T Calcul des prob. et Physique mathématique.
SCHWARTZ . . . . T Calcul différentiel et Intégral.
CHOUARD . . . . T Physiologie végétale.
MALAVARD. . . . T Aviation (Technique Aéronautique).
BRELOT . . . . . T Calcul différentiel et intégral.
NORMANT . . . . T Synthèse organique générale.
BENARD. . . . . T Chimie Minérale.
BUVAT. . . . . T Botanique (E. N. S.).
DUGUE . . . . . T Statistiques Mathématiques.
SOULAIRAC. . . . T Psychophysiologie.
ULRICH . . . . . T Physiologie végétale.
MARÉCHAL. . . . T Optique théorique et Appliquée.
KIRRMANN. . . . T Théories Chimiques.
CHADEFAUD . . . T Botanique.
Mlle LE BRETON. . T Physiologie de la nutrition.
SALEM. . . . . T Mathématiques générales.
LELONG . . . . . T Application de l'analyse à la géométrie.
DEVILLERS. . . . T Anatomie et Histologie comparées.
EHRESMANN . . . T Topologie Algébrique.
FRANÇON . . . . T Physique (S. P. C. N.).
GLANGEAUD . . . T Géographie physique et Géologie dynamique.
GODEMENT. . . . T Mathématiques (M. P. C.).
PISOT . . . . . T Techniques mathématiques de la Physique.
ROCH . . . . . T Géologie.
SCHATZMAN. . . . T Astrophysique.
TERMIER. . . . . T Paléontologie stratigraphique.
ZAMANSKY. . . . T Mathématiques générales.
LENNUIER . . . . T Physique (M. G. P.).
RIZET. . . . . T Génétique (Orsay).
ROUTHIER . . . . T Géologie appliquée.
Mme TONNELAT. . T Physique Théorique.
DIXMIER. . . . . T Mathématiques (M. P. C.).
SOUCHAY. . . . . T Chimie générale.
AIGRAIN. . . . . T Électrotechnique générale.
BRUSSET. . . . . T Chimie systématique.
M. LEVY. . . . . T Phys. théorique des hautes énergies (Orsay).
Mme CHAIX . . . T Chimie biologique.
Mme HUREL-PY . T Biologie végétale (P. C. B.).
PIAUX . . . . . T Chimie (M. P. C.).
BRUN . . . . . T Mécanique théorique des fluides.
LEDERER . . . . T Chimie biologique.
Mme DUBREIL . . T Mathématiques (Agrégation).
Mme LELONG. . . T Mathématiques (E. N. S.).

BELLAIR. . . . . T Géologie (S. P. C. N.).
COTTE. . . . . T Physique électricité.
DUBOIS J. E. . . T Chimie organique.
LAMOTTE. . . . . T Zoologie (E. N. S.).
MICHEL A. . . . . T Chimie Minérale (Orsay).
OLMER. . . . . T Énergétique générale.
ROUAULT . . . . T Électricité (Orsay).
GAUTHIER . . . . T Mécanique appliquée.
BARCHEWITZ . . . T Chimie Physique.
BROSSEL. . . . . T Physique atomique.
BUSER. . . . . T Physiologie comparée.
CAMUS. . . . . T Physiologie végétale (B. M. P. V.).
CASTAING . . . . T Physique (Orsay).
CURIEN . . . . . T Minéralogie et Cristallographie.
MOYSE. . . . . T Physiologie végétale (Orsay).
NOIROT . . . . . T Évolution des êtres organisés.
PANNETIER . . . T Chimie générale (Orsay).
POSSOMPES. . . . T Zoologie.
PULLMANN. . . . T Chimie théorique.
TEILLAC. . . . . T Physique nucléaire et Radioactivité.
TONNELAT. . . . T Biologie physico-chimique.
VILLE. . . . . T Économétrie.
WILLEMART . . . T Chimie (P. C. B.).
DODE . . . . . T Chimie (Orsay).
FREYMANN. . . . T Recherches physiques.
GUINOCHET. . . . T Biologie végétale (S. P. C. N.) (Orsay).
ROLLET . . . . . T Chimie (P. C. B.).
Mlle JOSIEN . . . T Chimie (S. P. C. N.).
CHEVALLEY . . . T Géométrie algébrique et théorie des groupes.
ARNOULT . . . . T Électronique (Orsay).
CHAPELLE . . . . T Physique (Orsay).
DELANGE . . . . T Mathématiques (Orsay).
DENY. . . . . T Mathématiques générales (Orsay).
GERMAIN. . . . . T Mécanique théorique des fluides.
LUCAS G. . . . . T Géologie.
ALLARD . . . . . T Chimie Physique.
BERTHELOT. . . . T Phys. fond. des Hautes Énergies (Orsay).
BRICART. . . . . T Météorologie et physique de l'Atmosphère.
Mme ALBE-FESSARD . . . . . T Psychophysiologie.
FRIEDEL. . . . . T Physique des Solides (Orsay).
M. JULIA. . . . . Études des moléculaires naturelles complexes.
LENDER. . . . . T Biologie animale (S. P. C. N.) (Orsay).
MAGAT. . . . . Physico-chimie des radioéléments.
Mlle QUINTIN. . . T Électrochimie.
MONOD . . . . . T Chimie du métabolisme.
BENOIT . . . . . T Physiologie animale (Orsay).
DE POSSEL. . . . T Analyse numérique.
CHARLOT. . . . . T Chimie analytique.
HAISSINSKY . . . T Radiochimie.
LEMÉE. . . . . T Physiologie végétale (B. M. P. V.) (Orsay).
GUÉRIN . . . . . T Chimie (M. P. C.) (Orsay).
CHATELET M. . . . T Chimie (P. C. B.).
JEAN . . . . . T Physique Nucléaire (Orsay).
MATTLER. . . . . T Physique (S. P. C. N.).
MICHEL L. . . . . Phys. Théor. des Hautes Énergies (Orsay).
BERGERARD . . . T Zoologie (Orsay).
BERTEIN. . . . . T Électronique (Orsay).
BOUISSIÈRES . . . Chimie des Radioéléments (Orsay).
Mme COUTURE . .T Thermodynamique et Mécanique Physique.
ELLENBERGER . .T Géologie appliquée sur le territoire.
FRANC. . . . . Biologie animale (P. C. B.).
SCHNELL. . . . . Botanique tropicale (Orsay).
STOLKOWSKI . . . Physiologie générale.
ACHER. . . . . Chimie Biologique (Orsay).
BAUDOIN . . . . Biologie animale (P. C. B.).
BEAUMONT. . . . Biologie animale (S. P. C. N.).
BLAMONT. . . . . T Géophysique Ionosphère.
BOURREAU. . . . Botanique.
CURIE D. . . . . Physique (M. G. P.).
DURAND-DELGA. . Géologie.
FREON . . . . . T Chimie organique (Orsay).
HELLER . . . . . T Physiologie végétale.
TORTRAT. . . . . T Calcul des Probabilités.
CAILLEUX . . . . Géologie (S. P. C. N.).
MAGNAN. . . . . T Physique (S. P. C. N.).
DAUDEL. . . . . T Mécanique ondulatoire appliquée à la chimie théorique et à la Physique nucléaire.
Mlle FOURCROY. . Biologie végétale (S. P. C. N.).
Mme CHOQUET-BRUHAT. . . . . T Mécanique analytique et Mécanique céleste.
Mlle VEIL . . . . Physiologie Générale.
LWOFF. . . . . T Microbiologie.
SIESTRUNCK . . . T Mécanique Physique et Expérimentale.
LACOMBE . . . . T Métallurgie des métaux nucléaires.
BROCHARD. . . . T Physique (P. C. B.) (Orsay).
CABANNES . . . . T Mécanique générale.
LESIEUR. . . . . T Mathématiques (M. P. C.) (Orsay).
MAZET. . . . . T Mécanique générale (Orsay).
CAIRE. . . . . Géographie physique et Géologie Dynamique.
COMOLET. . . . . T Mécanique des fluides.
CORABŒUF. . . . Physiologie Animale.
DELLOUE . . . . Physique de l'exosphère.
GORENFLOT . . . Botanique II (Orsay).
HOUILLON . . . . Biologie animale (P. C. B.).
JULLIEN J. . . . Chimie (P. C. B.).
MALGRANGE . . . T Techniques Mathématiques de la Physique.
OLIVIER. . . . . Anthropologie.
NOZERAN . . . . T Botanique II Orsay).
BLANC-LAPIERRE . Physique (E. N. S.) (Orsay).
CHEVAUGEON . . . T Botanique (Orsay)
KAHANE . . . . . T Mathématiques (Orsay)
SAMUEL. . . . . T Mathématiques (E. N. S.) féminine.
KOURGANOFF. . . T Astronomie (Orsay).
THIRY . . . . . T Mécanique céleste.

MESURES PRÉCISES DE POSITION DES RADIOSOURCES A 169 MHz

Par Mohan Joshi

(Observatoire de Paris-Meudon) (*)

Sommaire. — *Les réseaux EW et NS de Nançay ont été utilisés comme une croix pour mesurer la position précise et la densité de flux des radiosources à 169 MHz. Cet appareil possède un lobe central dont la largeur à demi-puissance est de 3′,4 dans le sens EW et de 7′ dans le sens NS au voisinage du zénith. Il nous a été possible de mesurer la déclinaison avec une grande précision grâce à un récepteur à multicanaux. Une nouvelle méthode a été utilisée pour mettre les antennes des deux réseaux en phase.*

Les observations portent sur 112 radiosources. La précision atteinte sur 45 d'entre elles est de $\pm$ 1^s *en ascension droite et de* $\pm$ 0′,5 *en déclinaison ; pour les autres radiosources, elle est de l'ordre de* $\pm$ 1^s,5 *à* $\pm$ 2^s *en ascension droite et de* $\pm$ 1′ *à* $\pm$ 2′ *en déclinaison.*

L'identification de la radiosource Hercules A proposée par le groupe de Cambridge a pu être confirmée à l'aide de notre mesure de position.

Summary. — *The Nançay EW and NS multi-element arrays were used as a cross to measure the precise position and flux density of radiosources. The central lobe given by this apparatus has a beam width at half-power points of 3′,4 in EW direction and of 7′ in the NS direction near the zenith. With the help of a multichannel receiver we were able to measure the declination with a high accuracy. A new method was used to phase-align the antennae of the two arrays.*

Measurements were made on 112 radiosources. The accuracy obtained on 45 of them is $\pm$ 1^s *in right ascension and* $\pm$ 0′,5 *in declination ; for the rest of the radiosources, it is of the order of* $\pm$ 1^s, 5 *to* $\pm$ 2^s *in right ascension and* $\pm$ 1′ *to* $\pm$ 2′ *in declination.*

The identification of the radiosource Hercules A suggested by the Cambridge Group was confirmed by our position measurements.

Резюме. — Сети В — З и С — Ю установленные в Нансэ были использованы кресто образно, чтобы определить точное положение и плотность потока радиоисточников (169 Мгц). Этот аппарат обладает центральным лепестком с углами направлености в 3′,4 в направлении В-З и в 7′ в направлении С-Ю вблизи зенита. Было возможно измерить уклонение с большой точностью благодаря многоканальному приёмнику. Ъыл применён новыи метод, чтобы получить совпадение фаз антенн обеих сетей.

Наблюдения относятся к 112 радиоисточникам. Достигнутая точность для 45 из них равняется. $\pm$ 1 сек, при прямом восхождении и 0,5 при уклонении ; для других радиоисточников эта точность порядка от $\pm$ 1,5 сек до 2 сек при уклонении.

Распознание радиоисточника геркулеса А, предложенное кембриджской группой, смогло быть подтвержено при помощи наших измерений положения.

INTRODUCTION

Un des problèmes principaux en Radioastronomie est celui de l'identification des radiosources avec des objets visibles. L'identification est nécessaire pour déterminer la distance d'une radiosource et ainsi sa luminosité intrinsèque. Elle nous aide aussi à connaître le mécanisme probable de l'émission radioélectrique. Mais l'identification avec un objet optique est un problème très délicat car il est nécessaire de connaître la position de la radiosource avec une grande précision pour que l'identification soit sans ambiguïté. L'identification des radiosources les plus intenses a été relativement facile car de simples méthodes interférométriques suffisaient pour mesurer leurs positions précises.

La plus grande partie du travail sur la découverte des radiosources a été faite par les chercheurs de deux groupes : l'un à Cambridge [1] et l'autre à Sydney [2]. Dans les deux cas les méthodes adoptées pour obtenir de hauts pouvoirs séparateurs

(*) En congé du National Physical Laboratory, New Delhi, India.

des antennes ont fait perdre la précision sur la position des radiosources. C'est pourquoi, jusqu'en 1957, bien que plusieurs milliers de radiosources aient été découverts par ces deux groupes, le nombre des radiosources identifiées restait très faible. Les efforts successifs de MINKOWSKI, MILLS et DEWHIRST, utilisant les catalogues de Cambridge et de Sydney, n'ont pas réussi à établir des identifications certaines, bien que plusieurs possibilités aient été proposées. Depuis lors, le nombre des identifications a relativement augmenté grâce à des mesures précises de position d'une centaine de radiosources faites par le groupe de Cambridge [3] et par celui du California Institute of Technology [4].

Dans ces deux cas les précisions atteintes en ascension droite sont de l'ordre d'une fraction de minute d'arc mais en déclinaison elles sont de l'ordre de quelques minutes d'arc, ce qui n'est pas toujours suffisant pour l'identification.

Nous avons essayé d'améliorer les déterminations de position d'une centaine de radiosources en les observant à l'aide d'une croix formée par les réseaux EO et NS situés à la Station de Radioastronomie de Nançay [5], [6]. Cet appareil ayant un lobe central dont la largeur à demi-puissance est de 3′,4 en ascension droite et de 7′ en déclinaison, à la fréquence de 169 MHz, nous donne une résolution beaucoup plus grande que les appareils antérieurs. De plus, pour pouvoir obtenir une grande précision en déclinaison, nous avons utilisé un récepteur multicanaux construit par E. J. BLUM.

La construction de la partie électronique de l'appareil a été achevée vers la fin de 1960 et l'ensemble de l'appareil est entré en fonctionnement en décembre 1960. Avant de commencer des observations régulières, il nous a fallu étudier quelques performances particulières de l'appareil et mettre au point une technique de mesure. Les observations qui font l'objet de cette thèse ont été commencées en février 1961 et ont duré un an environ. Elles portent sur 112 radiosources ; la précision atteinte sur la position de 45 d'entre elles est de $\pm$ 1^s en ascension droite et de $\pm$ 0′,5 en déclinaison.

Le chapitre I de ce travail est consacré à une description détaillée de l'ensemble de l'appareil. On y trouvera aussi une nouvelle méthode pour mettre en phase les éléments d'un réseau d'antennes.

Le chapitre II expliquera les méthodes que nous avons utilisées pour mesurer l'ascension droite, la déclinaison et la densité de flux des radiosources à partir des enregistrements. Les erreurs et les corrections à retenir seront discutées en détail.

Dans un troisième chapitre, nous donnerons l'ascension droite, la déclinaison et la densité de flux de 112 radiosources que nous avons observées. Nous verrons que les positions optiques et les positions radio que nous avons mesurées pour une vingtaine de radiosources identifiées concordent bien. Une comparaison entre les positions de 45 radiosources communes observées à Cambridge, à Caltech et à Nançay (nos mesures) montre que l'écart entre les trois catalogues est bien compris dans la somme des erreurs pour la plupart des radiosources, bien que les instruments utilisés dans les trois cas soient très différents.

Enfin, l'identification de la radiosource Hercules A fera l'objet d'une courte discussion.

CHAPITRE I

L'interféromètre à deux réseaux en croix de Nançay

I. DESCRIPTION DE L'APPAREIL.

a) *Les réseaux EO et NS de Nançay.*

On trouvera dans les articles de BOISCHOT [7] et de MALINGE et al. [6] une description détaillée de ces deux réseaux dont nous rappellerons très brièvement les propriétés principales.

Le réseau EO se compose de 32 miroirs paraboliques de 5 m de diamètre alignés sur une base Est-Ouest. La distance entre deux miroirs consécutifs est de 50 m. Les signaux captés par les antennes sont amenés au récepteur par un système de câbles coaxiaux schématisé sur la figure 1. On a ainsi des trajets électriques égaux entre chaque antenne et le récepteur et les signaux captés par les 32 antennes arrivent au récepteur en phase.

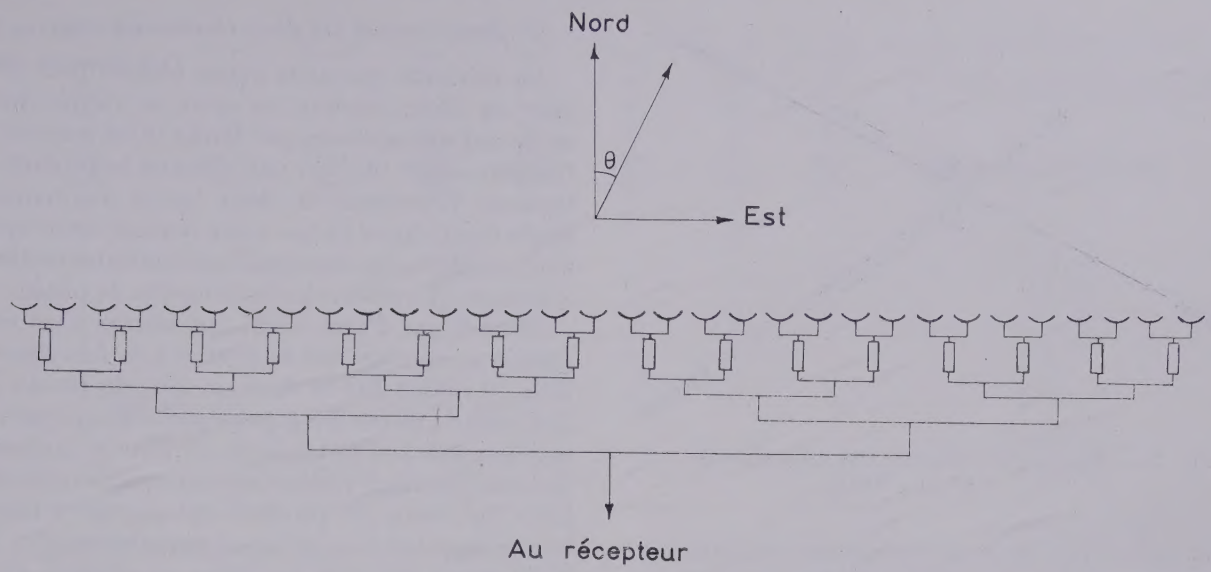


FIG. 1. — Schéma des liaisons entre antennes du réseau EO.

Le diagramme de réception d'un tel réseau est donné par :

$$f(\theta, \varphi) \cdot \frac{\sin \frac{N\Phi}{2}}{N \sin \frac{\Phi}{2}}$$

avec :

$$\Phi = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \theta$$

$N = 32$ = nombre d'antennes,
$a = 50$ m = distance entre deux antennes,
$f(\theta, \varphi)$ = diagramme commun à chaque antenne,
$\lambda = 1{,}775$ m = longueur d'onde.
θ est compté comme l'indique la figure 1, et φ dans un plan perpendiculaire à la ligne de base.

Le diagramme en puissance dans le plan des θ du réseau EO se compose donc d'une série de lobes principaux enveloppés par le lobe $f(\theta)$. Dans le plan des φ le diagramme du réseau est celui des antennes.

Le pouvoir séparateur à demi-puissance du lobe central est approximativement égal à :

$$\frac{\lambda}{Na} = \frac{1{,}775}{32 \times 50} = 3',4.$$

La distance angulaire entre deux lobes principaux est égale à

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{1{,}775}{50} = 2°02'.$$

Le réseau NS comporte 8 miroirs paraboliques de 10 m de diamètre alignés sur une base Nord-Sud. La distance entre deux miroirs consécutifs est de 110 m. Les signaux captés par les 8 antennes sont amenés au récepteur par des câbles coaxiaux (fig. 4) dont les longueurs sont telles que les signaux arrivent au récepteur en phase. Le diagramme de réception du réseau est alors donné par :

$$F(\varphi, \theta) \frac{\sin n \frac{\Psi}{2}}{n \sin \frac{\Psi}{2}}$$

avec :

$$\Psi = \frac{2\pi b}{\lambda} \sin \varphi$$

$n = 8$ = nombre d'antennes,
$b = 110$ m = distance entre deux antennes,
$F(\varphi, \theta)$ = diagramme commun à chaque antenne
φ et θ ont la même signification que dans le cas du réseau EO.

La réponse en puissance du réseau NS se compose donc d'une série de lobes principaux dans le plan des φ, enveloppés par le lobe $F(\varphi)$.

Dans le plan des θ le diagramme du réseau est celui des antennes.

La largeur à demi-puissance du lobe au zénith est approximativement égale à :

$$\frac{\lambda}{nb} = \frac{1{,}775}{8 \times 110} = 6',9$$

et la distance angulaire entre deux lobes principaux au voisinage du zénith est égale à :

$$\frac{\lambda}{b} = \frac{1{,}775}{110} = 55',2.$$

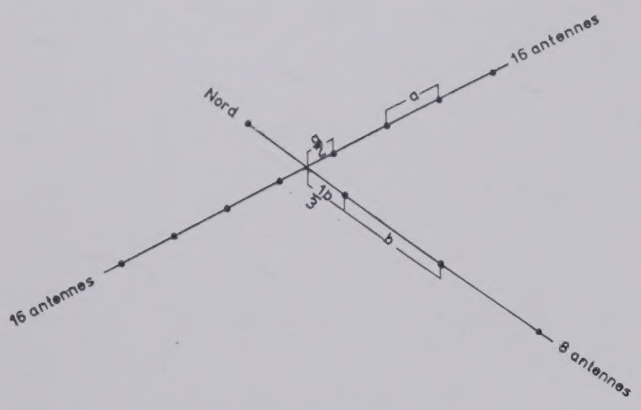


FIG. 2. — Schéma de disposition des deux réseaux : $a = 50$ m ; $b = 110$ m.

La disposition des deux réseaux est schématisée sur la figure 2. Le réseau NS coupe le réseau EO au centre de ce dernier, mais les centres des deux réseaux ne coïncident pas. La distance entre la deuxième antenne du réseau NS et le centre du réseau EO est approximativement égale à $1/3\ b$. Nous discuterons plus loin les conséquences d'une telle disposition.

b) *Branchement des deux réseaux en croix.*

La méthode que nous avons utilisée pour brancher les deux réseaux en croix se rapproche de celles qui sont utilisées par MILLS [8] et surtout par CHRISTIANSEN [9], qui ont effectué le produit des tensions provenant de deux lignes d'antennes à angle droit. Nous avons, pour réaliser cette opération, employé des dispositifs multiplicateurs directs à la place du système à commutation de phase.

Dans le cas d'une croix, une source n'est enregistrée que lorsqu'elle se trouve à la fois dans un lobe du réseau EO et dans un lobe du réseau NS. Les lobes du réseau NS étant séparés les uns par rapport aux autres d'un angle de $55',2/\cos z$, (z étant la distance zénithale visée) une source située entre deux lobes du réseau NS pendant son passage à travers le méridien local ne sera pas enregistrée (*fig.* 3*a*). Nous avons résolu ce problème en utilisant un récepteur à multicanaux qui permet d'enregistrer simultanément 15 voies correspondant à 15 lobes séparés les uns des autres de 1/16 d'interlobe (soit une demi-largeur du lobe principal), comme l'indique la figure 3*b*. On pourra ainsi étudier toutes les sources traversant le méridien local.

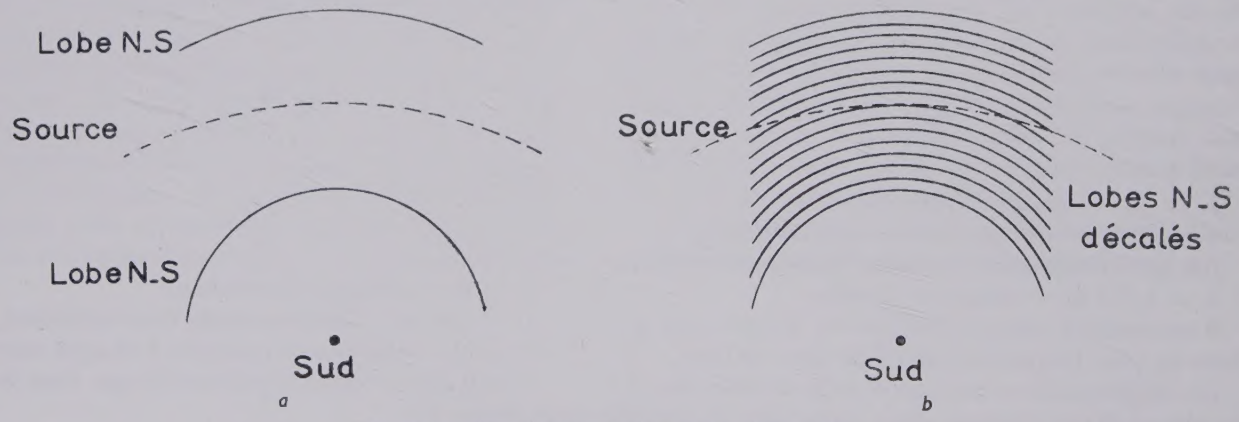


FIG. 3. — Deux lobes principaux du réseau NS.
a) Une source traversant le méridien entre les deux lobes ne sera pas enregistrée.
b) Les lobes décalés du réseau NS. Toutes les sources traversant le méridien seront ainsi enregistrées.

c) *Le récepteur multicanaux.*

Ce récepteur a été construit par BLUM et a déjà été décrit [10]. Ici nous en présenterons seulement quelques détails.

Sur la figure 4, sont schématisées les diverses parties du récepteur. Les signaux captés par les 8 antennes du réseau NS sont amplifiés par les préamplificateurs puis sont conduits par les câbles coaxiaux à faibles pertes à la cabane centrale. A la sortie de ces câbles, on trouve 8 mélangeurs séparés ; le signal d'oscillateur local arrive aux 8 mélangeurs avec une phase fixe. Les signaux après mélange traversent un groupe de 8 câbles coaxiaux à retard, avant d'attaquer les 8 amplificateurs moyenne fréquence centré sur 11,55 MHz ; bande passante = 2 MHz.

Chacun de ces amplificateurs a 15 sorties convenablement découplées. Les sorties sont ensuite groupées par 8 ; chacune correspond à un amplificateur différent. Les 15 groupes ainsi formés attaquent 15 multiplicateurs par un système de câbles coaxiaux déphaseurs dont les longueurs ont été calculées pour qu'aux 15 groupes correspondent des

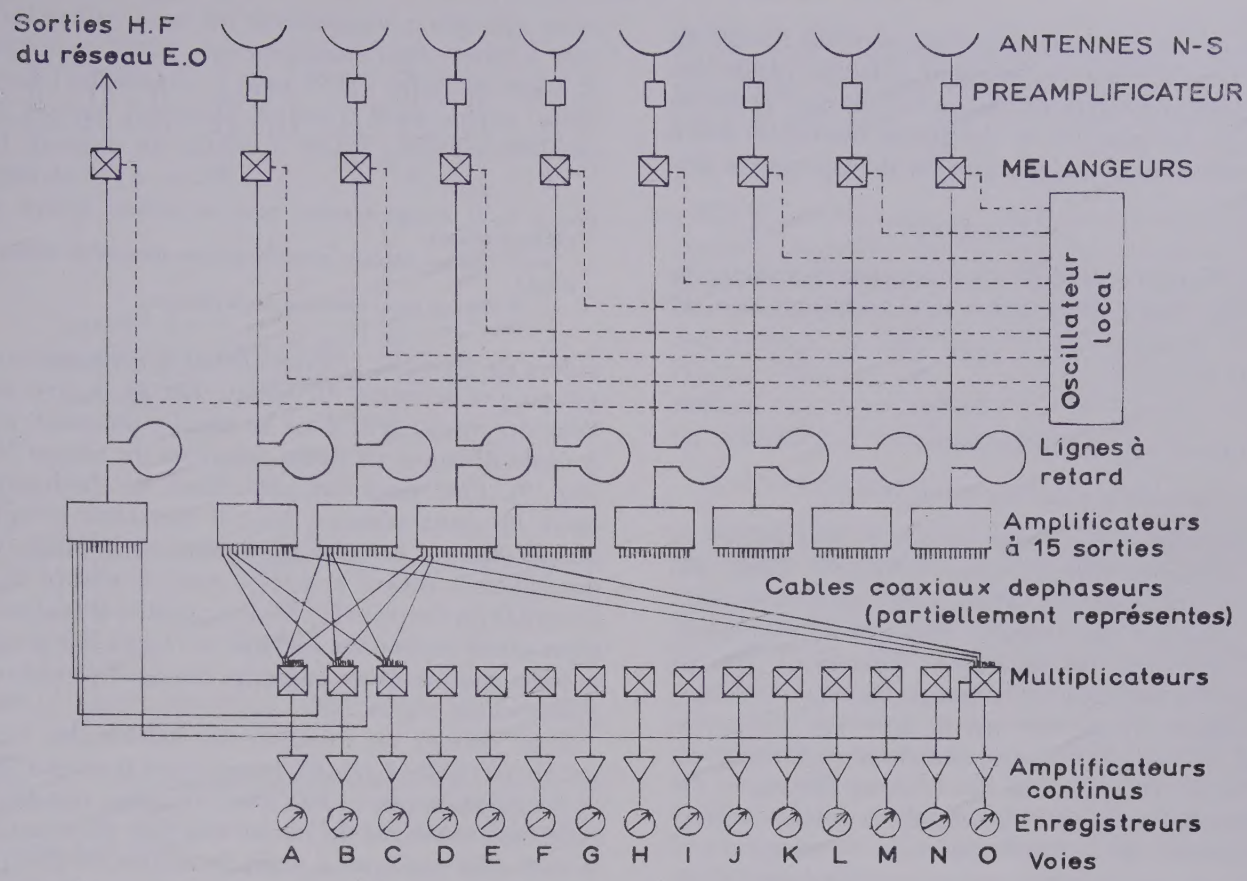


FIG. 4. — Schéma du récepteur à multicanaux.

diagrammes de réception du réseau, décalés les uns par rapport aux autres de 1/16e d'interlobe (soit 1/2 largeur à demi-puissance du lobe principal du réseau).

Les signaux captés par les 32 antennes du réseau EO sont amenés à la cabane centrale par un système de câbles coaxiaux, comme l'indique la figure 1. Aux bornes de sortie haute fréquence du réseau EO, se trouve un mélangeur auquel arrive le signal du même oscillateur local avec la même phase que pour le réseau NS.

Après mélange, le signal traverse un câble coaxial à retard et ensuite est amplifié par un amplificateur moyenne-fréquence identique à ceux du réseau NS. Les 15 sorties attaquent ensuite les 15 multiplicateurs par des câbles coaxiaux déphaseurs.

Aux bornes de chaque multiplicateur, apparaît ainsi une tension qui est proportionnelle au produit de la tension aux bornes du réseau EO par la tension aux bornes du réseau NS. Ces 15 tensions résultantes sont ensuite amplifiées par des amplificateurs continus et enregistrées sur 3 appareils 5 pistes.

II. Les diverses parties du récepteur.

a) *Les préamplificateurs.*

Le réseau EO comprend 16 préamplificateurs et le réseau NS 8. Tous les préamplificateurs sont identiques au point de vue du gain, des facteurs de bruit, et surtout du déphasage.

On trouvera une description détaillée de ces amplificateurs dans la référence [7].

b) *Les câbles de transmission.*

Dans le cas des réseaux de très grande longueur, on est obligé d'utiliser des câbles coaxiaux de plusieurs centaines de mètres de long pour transporter l'énergie des antennes au récepteur. Ces câbles étant utilisés sur de hautes fréquences, la variation de longueur de ces câbles due à la variation de température peut être importante au point de vue du déphasage. Dans le cas du réseau NS, les longueurs n'étant pas égales, le déphasage peut n'être pas négligeable.

Pour éviter cet inconvénient, les câbles sont enterrés à une profondeur de 80 cm où les vari-

ations diurnes de température sont de l'ordre de 1°. La différence de longueur entre les câbles des antennes extrêmes du réseau NS est de l'ordre de 700 m. La variation des longueurs des câbles due à la variation de température est donnée par la formule :

$$\Delta L = L \alpha \Delta t$$

α étant le coefficient de dilatation thermique du cuivre. On a alors, pour une variation $\Delta t = 1°$

$$\Delta L = 700 \times 14{,}09 \times 10^{-6} \times 1$$

$$\sim 1 \text{ cm}$$

ce qui est tout à fait tolérable.

c) *Les câbles coaxiaux à retard.*

Ces câbles se trouvent entre les mélangeurs et les amplificateurs moyenne fréquence. Leur rôle est de maintenir des délais égaux pour les signaux provenant d'une certaine direction de l'espace et recueillis par les antennes ; autrement dit, ils fixent la direction de la frange blanche de l'interféromètre. A mesure que la direction d'observation s'éloigne de la frange blanche ainsi déterminée, l'effet de la largeur de bande Δf se fait sentir ; le déphasage croît entre les signaux captés aux deux extrémités de la bande passante du récepteur et pour un retard correspondant sensiblement à $1/\Delta f$, il atteint π. En supposant pour simplifier une bande passante rectangulaire, on trouve aisément que la perte de sensibilité due à ce phénomène de brouillage des franges est inférieure à 20 % si on se limite à des retards de $1/2\ \Delta f$ correspondant, dans notre cas où $\Delta f = 2$ MHz, à un champ de 3 interlobes de part et d'autre de la frange blanche, ce qui fixe en même temps le nombre de groupes de lignes coaxiales à retard à utiliser, soit 11 pour les déclinaisons comprise entre $+ 80°$ à $- 25°$.

Les groupes de câbles à retard sont commutables pour faciliter l'exploitation ; de plus, leurs longueurs sont toutes multiples de la demi-longueur d'onde moyenne fréquence. Ainsi, il y a recouvrement exact des lobes lorsqu'on passe d'un groupe de câbles à retard à un autre (figure 5), la commutation des câbles ne faisant que changer la direction de la frange blanche.

En ce qui concerne les lobes du système dans le sens Nord-Sud, le réseau EO agit comme une antenne unique placée en son centre, il faut alors mettre aussi des câbles à retard à la sortie du réseau EO pour que le signal donné par un plan d'onde dans la direction du méridien arrive avec le même retard à la sortie des deux réseaux. Les longueurs de ces câbles à retard peuvent être calculées en assimilant le réseau EO à cette antenne unique ; si le centre du réseau EO se trouve sur l'axe du réseau NS, il ne se trouve pourtant pas à égale distance de deux antennes du réseau NS (fig. 2). Ceci pose des problèmes de déphasage entre les deux réseaux dont il faut tenir compte quand on veut calculer pratiquement la longueur des câbles à retard à mettre dans le réseau EO. (voir § II du chapitre II). Pour simplifier les calculs, nous avons cependant assimilé le réseau EO à une antenne unique située au centre des deux premières antennes du réseau NS.

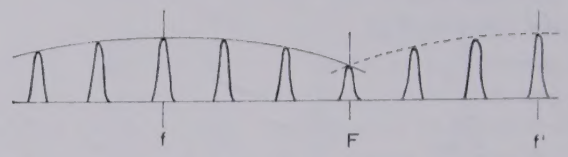


FIG. 5. — f : frange blanche pour un certain groupe de câbles à retard.
— f' : frange blanche pour le groupe suivant de câbles à retard.
— F : frange commune aux deux groupes.

Pour donner un exemple des calculs des longueurs de câbles à retard, considérons le réseau NS et le centre du réseau EO situé au milieu des deux premières antennes du réseau NS (fig. 6). Comme il a été déjà expliqué, il suffit de mettre un groupe de câbles à retard pour un champ de 3 interlobes

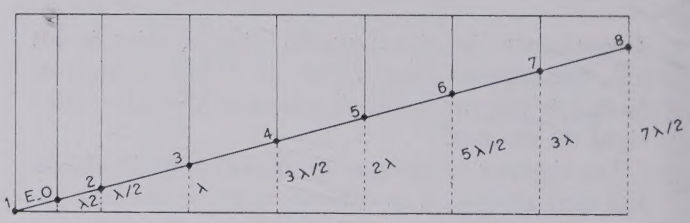


FIG. 6. — Principe du calcul des câbles à retard.

de part et d'autre de la frange blanche et les longueurs de câbles doivent être toutes multiples de la demi-longueur d'onde moyenne fréquence. Les ondes venant du zénith et recueillies par les antennes arrivent au récepteur en phase. La latitude du lieu étant 47° 23′, les longueurs de câbles à retard pour toutes les antennes, y compris le réseau EO, sont donc égales à zéro pour les déclinaisons comprises entre 50° 09′ et 44° 37′. Pour les ondes venant des déclinaisons comprises entre 44°09′ et 39°02′, les longueurs de câbles à retard sont égales à zéro pour l'antenne 1, $\lambda/2$ pour EO, $\lambda/2$ pour l'antenne 2, λ pour l'antenne 3, $3\lambda/2$ pour l'antenne 4, 2λ pour l'antenne 5, $5\lambda/2$ pour l'antenne 6, 3λ pour l'antenne 7 et $7\lambda/2$ pour l'antenne 8. Pour le prochain groupe de câbles à retard,

c'est-à-dire pour les déclinaisons comprises entre 39°02′ et 33°23′, les longueurs sont égales à zéro pour l'antenne 1, λ pour EO, λ pour l'antenne 2, 3λ/2 pour l'antenne 3, etc... Nous avons, ainsi, 11 groupes de câbles à retard pour les déclinaisons de 80° à — 25°.

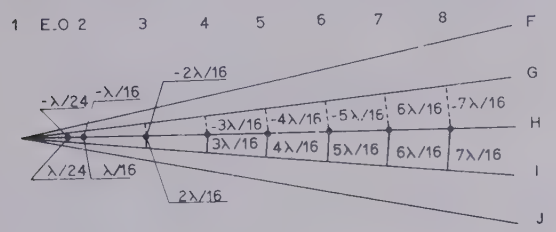
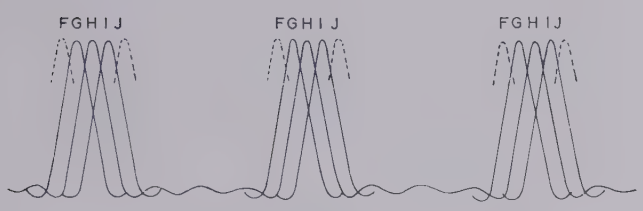


Fig. 7.



Fig, 8

Fig. 7-8. — Principe de mise en parallèle pour obtenir des systèmes de lobes décalés. La mise en parallèle symbolisée par la ligne H correspond aux lobes en H de la figure 8, de même pour I, etc....

λ étant ici la longueur d'onde moyenne fréquence (soit 26 m) les longueurs de ces câbles atteignent plusieurs centaines de mètres. Nous avons donc utilisé un type de câble coaxial dont le conducteur central est en spirale, ce qui diminue considérablement leur longueur.

d) *Les câbles coaxiaux déphaseurs.*

Ces câbles se trouvent entre les amplificateurs moyenne fréquence et les multiplicateurs. Leur rôle est d'obtenir 15 fois chaque lobe principal du réseau NS sur 15 voies séparées les unes des autres de 1/16 d'interlobe (soit une demi-largeur à demi-puissance du lobe principal). On calcule leur longueur en supposant que le réseau EO est une antenne unique située en son centre. Le principe de la mise en parallèle pour obtenir des systèmes de lobes décalés, est indiqué sur les figures 7 et 8. Les signaux captés par les antennes dans le système des lobes « H » arrivent au récepteur en phase. Les longueurs de câbles déphaseurs pour les lobes H doivent donc être toutes égales. Pour les lobes H nous avons mis des câbles déphaseurs de 2 m de longueur. Leurs longueurs pour les autres lobes sont ensuite calculées par rapport à cette longueur de 2 m. Par exemple, pour les lobes I elles sont égales à : 2 m, 3,05 m, 4,10 m, 5,15 m, 6,20 m, 7,25 m, 8,30 m et 9,35 m pour les antennes 1 à 8 du réseau NS, et 2,70 m pour le réseau EO. (La longueur d'onde dans le câble est égale à 16,8 m).

e) *L'oscillateur local.*

Les positions des franges de l'interféromètre dans l'espace dépendent de la longueur d'onde, c'est-à-dire de la fréquence de l'oscillateur local. Pour une précision de 1/2 minute d'arc sur les positions des franges, la fréquence de l'oscillateur local (157,45 MHz) doit être fixée à 20 kHz près. Pour réaliser cette stabilisation, nous avons dû utiliser un oscillateur local piloté par quartz.

f) *Les multiplicateurs.*

Pour réaliser le produit de la tension provenant du réseau EO, par la tension provenant du réseau NS, nous avons utilisé des multiplicateurs directs construits selon des principes énoncés par Blum [11]. Il a démontré qu'une croix utilisant des multiplicateurs directs est $\sqrt{2}$ fois plus sensible que celle qui utilise le système à commutation de phase ; ce système à multiplication présente l'avantage d'une grande stabilité vis à vis des variations de gain, et d'une protection presque parfaite vis à vis des parasites qui n'affectent qu'une des moitiés de la croix.

g) *Les enregistreurs.*

Les sorties des 15 multiplicateurs sont amplifiées séparément par 15 amplificateurs continus, et sont ensuite enregistrés sur 3 enregistreurs du type « Radiograph Sefram » à 5 pistes. La constante de temps utilisée est de 1 seconde. La vitesse de déroulement du papier est de 2 cm par minute.

III. Diagramme de réception.

a) *Le diagramme de réception de la croix.*

La croix nous fournit un diagramme de réception ayant une résolution élevée dans les deux directions EO et NS. Dans de tels réseaux on peut étudier séparément le diagramme de réception dans le sens Est-Ouest d'une part, et dans le sens Nord-Sud de l'autre.

Le diagramme de réception dans le sens Est-Ouest dépend du réseau Est-Ouest. Le réseau Nord-Sud coupant le réseau Est-Ouest au centre de ce dernier (fig. 2) on peut considérer le réseau NS comme une antenne unique ou « antenne de référence » située au centre du réseau EO (voir IV). La tension de sortie étant proportionnelle au produit

de la tension de sortie du réseau EO par la tension de sortie du réseau NS, le diagramme de réception dans le sens Est-Ouest est donné par la somme des 32 vecteurs :

$$e^{-j\frac{31}{2}\Phi} + e^{-j\frac{29}{2}\Phi} + e^{-j\frac{27}{2}\Phi} + \ldots + e^{-j\frac{3}{2}\Phi}$$
$$+ e^{-j\frac{1}{2}\Phi} + e^{+j\frac{1}{2}\Phi} + \ldots + e^{+j\frac{27}{2}\Phi} + e^{+j\frac{29}{2}\Phi}$$
$$+ e^{+j\frac{31}{2}\Phi}$$

soit :

$$\frac{\sin\frac{32}{2}\Phi}{\sin\frac{\Phi}{2}}.$$

Le diagramme de réception dans le sens Est-Ouest se compose donc d'une série de lobes principaux alternativement positifs et négatifs, ce qui est visible sur la figure 11, enregistrement du passage d'une radiosource.

Le diagramme de réception de la croix dans le sens Nord-Sud dépend du réseau Nord-Sud. Comme dans le cas du réseau EO,, on peut le calculer en considérant le réseau EO comme une antenne unique située en son centre. La distance entre le centre du réseau EO et l'antenne du réseau NS la plus proche de ce centre étant 1/3 de la distance entre deux antennes du réseau NS, le diagramme de réception dans le sens Nord-Sud est donné par la somme de 8 vecteurs :

$$e^{-j\frac{2}{3}\Psi} + e^{j\frac{1}{3}\Psi} + e^{j\frac{4}{3}\Psi} + \ldots + e^{j\frac{16}{3}\Psi} + e^{j\frac{19}{3}\Psi}$$
$$= \cos\frac{17}{3}\Psi . \frac{\sin\frac{8}{2}\Psi}{\sin\frac{\Psi}{2}}.$$

Sur la figure 9 sont tracés les trois premiers lobes de ce diagramme. Ces trois lobes se répètent ensuite. On voit que la forme du premier lobe est bonne mais que le deuxième et le troisième lobe sont déformés. Ceci est dû au terme $\cos\frac{17}{3}\Psi$. Cette déformation peut être corrigée en réglant la phase de la sortie du réseau EO. Nous discuterons plus loin ce problème.

b) *Les lobes de l'interféromètre dans l'espace.*

Sur la figure 10, sont représentés les lobes de l'interféromètre sur la sphère céleste et le passage

FIG. 9. — Le diagramme de réception de l'interféromètre dans le sens NS (en abscisses, Ψ en degrés).

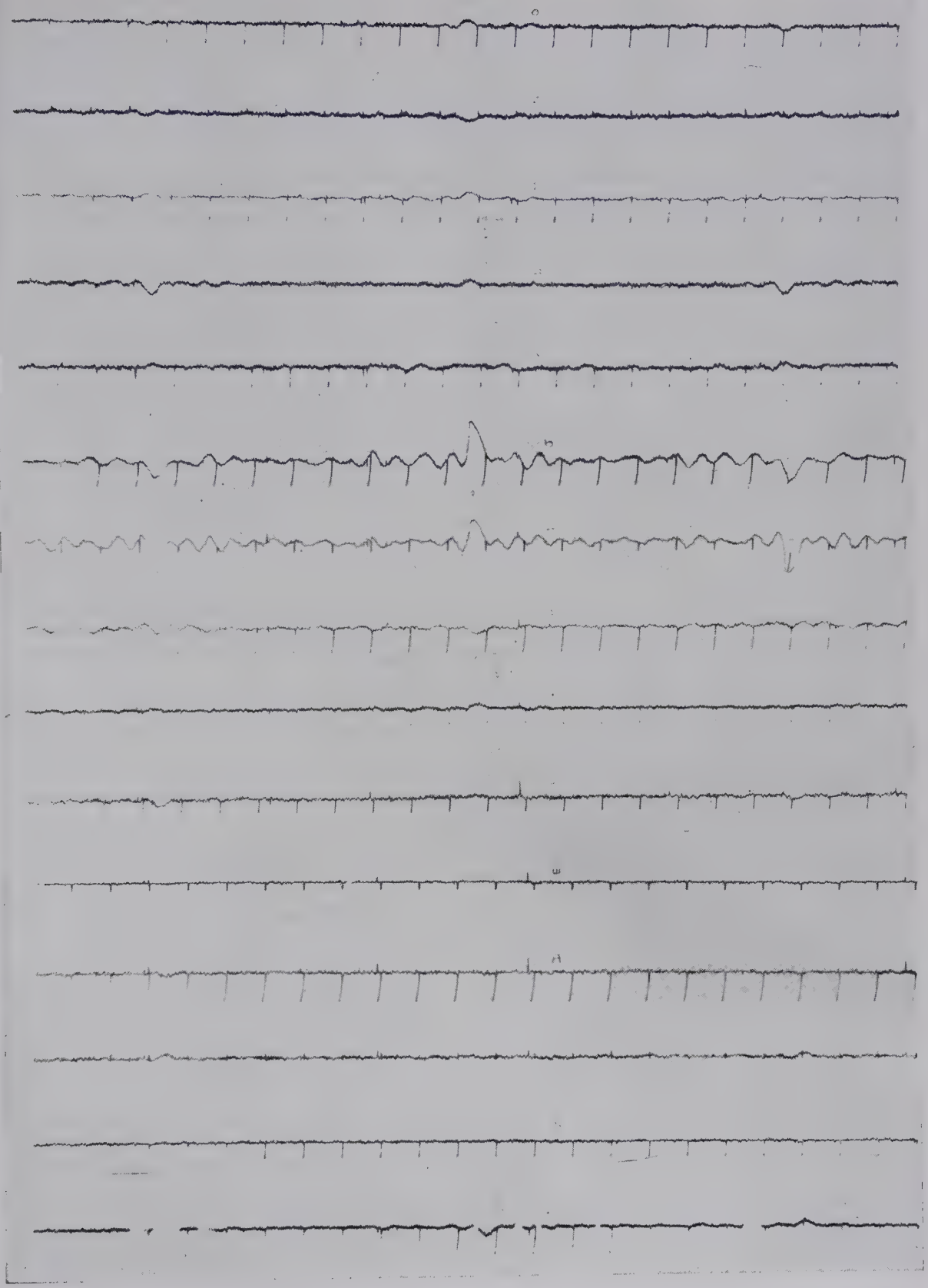


FIG. 11. — Enregistrement du passage de la radiosource Hydra A dans les 15 lobes : culmination entre les voies I et J.

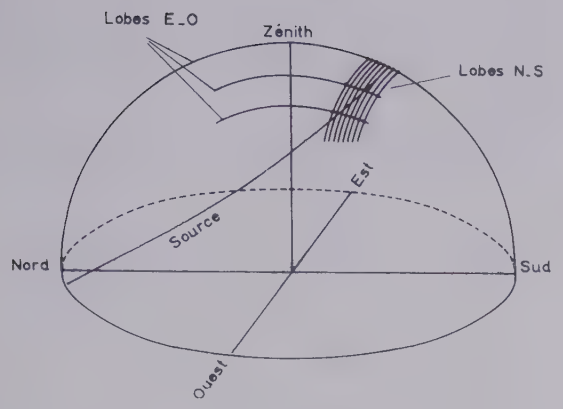


FIG. 10. — Les lobes de l'interféromètre sur la sphère céleste et le passage d'une radiosource dans ces lobes.

d'une radiosource dans ces lobes. Les lobes du réseau NS sont de petits cercles verticaux, perpendiculaires au plan méridien. Les lobes du réseau EO sont de petits cercles parallèles au plan méridien, le lobe central coïncidant avec le plan méridien. Une radiosource n'est enregistrée que lorsqu'elle se trouve à la fois dans un lobe du réseau EO et dans un lobe du réseau NS ; le diagramme de réception se compose d'un quadrillage de lobes représentés par des petits cercles sur la figure 10.

La figure 11 donne un exemple d'un enregistrement du passage d'une radiosource dans les lobes de l'interféromètre.

c) *La* 16e *voie.*

Nous avons dit que les lobes principaux du réseau NS correspondant aux 15 voies sont décalés chacun de 1/16e de lobe.

Le récepteur à multicanaux n'ayant que 15 multiplicateurs, on enregistre les sorties de 15 voies seulement alors qu'il y a 16 intervalles. Si une source a une déclinaison telle qu'elle se trouve dans la 16e voie au moment où elle traverse le lobe central, elle ne sera pas enregistrée dans ce lobe, mais elle sera enregistrée lors de son passage dans les lobes avant et après le lobe central. Il sera donc possible cependant d'étudier une telle source.

IV. Mise en phase des antennes des réseaux.

Pour exploiter au mieux un réseau d'antennes il importe d'avoir une bonne précision dans la mise en phase des antennes du réseau. Dans le cas de nos réseaux, les signaux captés par les antennes étant conduits au récepteur par des câbles coaxiaux, il est nécessaire de régler les longueurs de ces câbles de façon que les signaux arrivent au récepteur en phase. Ces longueurs atteignant plusieurs centaines de mètres, il est difficile de les régler avec la précision nécessaire. On sait d'après le critère de Rayleigh, qu'un déphasage de $\lambda/4$ donne des pertes de l'ordre de 20 %. Si on obtient une précision de $\lambda/16$ les pertes seront certainement négligeables.

Une methode a été décrite par Swarup [12] pour mettre en phase les antennes d'un réseau, mais ne peut pas être appliquée simplement à notre cas à cause des pertes considérables dans les câbles. Nous avons donc utilisé une autre méthode, qui nous a permis d'atteindre la précision désirable. Le principe de cette méthode, qui a déjà été décrite par Blum, Delannoy et l'auteur [13], est le suivant :

Considérons un réseau de n antennes alignées pointées dans la direction d'une source ponctuelle, et faisons le produit de la tension qui apparaît aux bornes de ce réseau par la tension aux bornes

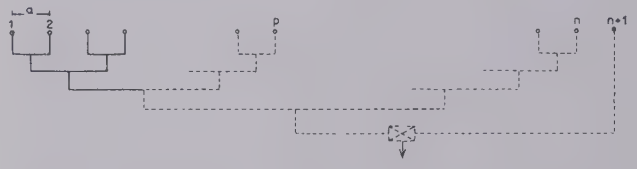


FIG. 12. — Schéma du système pour obtenir le produit de la tension de sortie d'un réseau par la tension de sortie d'une antenne de référence.

d'une antenne auxiliaire, ou « antenne de référence » approximativement alignée avec l'ensemble du réseau comme l'indique la figure 12. Si la direction de la source fait un angle u avec la direction de visée principale du réseau, on obtient aux bornes du multiplicateur une tension variant avec u selon :

$$g(\theta) = \sum_{p=1}^{n} r_p \cos(p\theta - \Phi_p)$$

avec

$$\theta = \frac{2\pi d}{\lambda} u$$

chaque terme peut s'écrire sous la forme :

$$r_p \cos(p\theta - \Phi_p) = a_p \cos p\theta + b_p \sin p\theta.$$

en faisant apparaître ainsi les coefficients de Fourier a_p et b_p en cosinus et sinus de la fonction périodique $g(\theta)$. On sait que la transformée de Fourier de la réponse $g(\theta)$ d'un système d'antennes peut être considérée comme sa bande passante spatiale [14], le p[ieme] harmonique d'espace de la distribution de brillance céleste étudiée étant ici transmis par le couple formé par l'antenne de référence et l'antenne du réseau située à la distance pd de celle-ci. Dans notre cas, le spectre des

fréquences spatiales est formé par une suite de termes a_p et b_p non nuls aux seules abcisses 1, ..., p, ..., n, correspondant aux couples possibles. Si le réseau était parfait : antennes identiques et parfaitement mises en phase, les termes b_p seraient nuls et tous les termes a_p seraient égaux. L'on aurait :

$$g(\theta) = \cos\theta + \cos 2\theta + \ldots + \cos p\theta + \ldots + \cos n\theta.$$

Dans le cas général la contribution du couple p s'écrit :

$$r_p \cos(p\theta - \Phi_p)$$

en faisant apparaître l'amplitude r_p et la phase Φ_p de l'antenne p par rapport à l'antenne de référence.

L'analyse de Fourier de la fonction $g(\theta)$ donnera immédiatement les valeurs des r et des Φ pour chaque antenne (ou, ce qui revient au même, des a et des b), ce qui permet de connaître les paramètres du réseau réel.

L'enregistrement du passage d'une source ponctuelle donne expérimentalement $g(\theta)$ qu'il suffit de considérer dans l'intervalle $+\pi$, $-\pi$ (soit $-\lambda/d \leqslant u \leqslant +\lambda/d$) puisqu'elle est périodique ; on relève les valeurs de $g(\theta)$ en $2n$ points équidistants, ce qui est suffisant en vertu du théorème d'échantillonnage. Le calcul numérique donne les séries a_p et b_p ; on a :

$$r_p \exp(j\Phi) = a_p + jb_p.$$

Un diagramme vectoriel donne r_p et Φ_p.

a) *Application au réseau NS.*

Pour ce réseau, nous avons pris la première antenne au Nord du réseau comme antenne de référence. Pour faire le produit de la tension provenant de cette antenne par la tension provenant du réseau formé par les sept autres antennes, nous avons modifié l'appareil de la figure 4 de la façon suivante : les 15 sorties du réseau EO sont remplacées par les 15 sorties de l'antenne de référence à l'entrée des 15 multiplicateurs. La tension qui apparaît aux bornes des multiplicateurs est alors le produit cherché.

La réponse $g(\theta)$ de ce système est :

$$g(\theta) = \sum_{p=1}^{7} r_p \cos(p\theta - \Phi_p)$$

ou

$$g(\theta) = \sum_{p=1}^{7} [a_p \cos p\theta + b_p \sin p\theta].$$

Nous avons obtenu $g(\theta)$ en enregistrant le passage de la radiosource Hydra A, une source de faible diamètre par rapport à la largeur du lobe du réseau. Les déflexions sur les différentes voies au moment où la source se trouve au méridien nous donnent 16 points sur le lobe principal du système.

Ces 16 valeurs sont suffisantes pour l'analyse de Fourier de $g(\theta)$ selon le théorème d'échantillonnage.

Le calcul numérique se fait en prenant 16 valeurs équidistantes entre 0 et 2π de cos θ, cos 2θ,..., cos 7θ et de sin θ, sin 2θ, ..., sin 7θ en faisant le produit de 16 valeurs de $g(\theta)$, par les valeurs correspondantes de cos θ, cos 2θ ... cos 7θ et de sin θ, sin 2θ ... sin 7θ.

La somme de ces 16 produits correspondant à cos θ nous donne a_1, celle qui correspond à cos 2θ nous donne a_2, etc...

On obtient les 7 vecteurs (r, Φ) en construisant une courbe où les b_p sont portés en abcisses et les a_p en ordonnées. L'axe des ordonnées représente l'axe de l'antenne de référence et l'angle qu'un vecteur fait avec cet axe nous donne la différence de phase entre l'antenne de référence et l'antenne correspondante du réseau.

Sur la figure 13 *a* sont représentés les 7 vecteurs avant le réglage de phase du réseau. Le vecteur 2 correspond à l'antenne 2 du réseau, le vecteur 3 à l'antenne 3 du réseau etc..., On voit que les signaux captés par les antennes n'arrivent pas exactement en phase au récepteur. En fait, les phases des antennes 7 et 8 sont opposées à celles des autres. L'angle que fait un vecteur avec l'ordonnée (soit l'axe de l'antenne de référence) nous donne la différence de phase entre l'antenne et l'antenne de référence. Par exemple l'angle entre le vecteur 7 et l'axe des ordonnées est de $-150°$ ce qui est égal à une différence de phase de $-\lambda/2{,}4$. Pour corriger la phase de l'antenne 7, il faut alors ajouter un câble d'une longueur de $\lambda/2{,}4$, soit à la sortie de cette antenne, soit entre l'oscillateur local et le mélangeur correspondant à l'antenne. La longueur d'onde de l'oscillateur local étant de 190 cm, la longueur de câble à ajouter pour cette antenne est égale à $190/(2{,}4 \times 1{,}54) = 50$ cm. Les phases des autres antennes ont été réglées de la même façon. La figure 13*b* représente les mêmes vecteurs après le réglage des phases. On y voit que les phases sont réglées avec une précision de $\lambda/20$ près.

b) *Application au réseau EO.*

Dans le cas du réseau Est-Ouest, on n'a pas pu prendre une antenne du réseau comme antenne de référence à cause de la disposition des câbles joignant les antennes au récepteur (fig. 1).

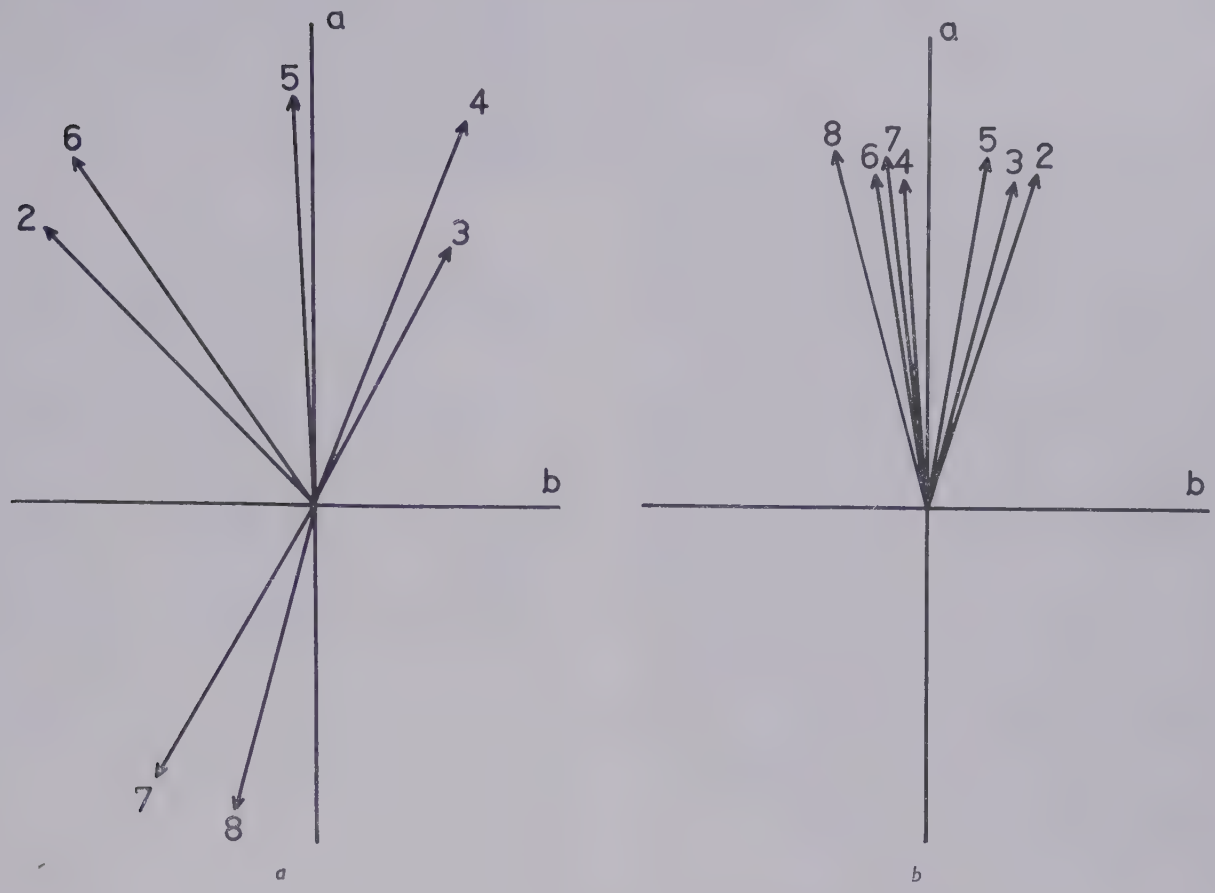


Fig. 13*a*. — Les 7 vecteurs du réseau NS avant le réglage de phase du réseau.
Fig. 13*b*. — Les 7 vecteurs du réseau NS après le réglage de phase.

Nous avons utilisé alors la deuxième antenne du réseau NS comme antenne de référence, celle-ci étant l'antenne la plus proche du réseau EO.

Le produit de la tension de sortie de l'antenne de référence par la tension de sortie du réseau EO se fait en enlevant tous les câbles déphaseurs du réseau NS de l'entrée des multiplicateurs sauf ceux de l'antenne de référence.

L'axe du réseau NS coupe le réseau EO en son milieu (fig. 2). Les antennes du réseau sont donc disposées symétriquement des deux côtés de l'antenne de référence. Chaque harmonique de la bande passante spatiale du système est alors dû à la somme des contributions de deux antennes du réseau. Pour éviter cette ambiguïté, nous avons fait le réglage de phase du réseau EO séparément pour la partie Est du réseau et la partie Ouest.

Considérons alors le système formé par une moitié du réseau EO et l'antenne de référence. La distance entre l'antenne de référence et la première antenne du réseau étant $a/2$ (a étant la distance entre deux antennes du réseau EO) la réponse $g(\theta)$ du système est donnée par la formule :

$$g(\theta) = a_1 \cos\frac{\theta}{2} + a_2 \cos\frac{3\theta}{2} + \ldots + a_{16} \cos\frac{31\theta}{2} + b_1 \sin\frac{\theta}{2} + b_2 \sin\frac{3\theta}{2} + \ldots + b_{11} \sin\frac{31\theta}{2}.$$

Comme dans le cas du réseau NS, nous avons obtenu $g(\theta)$ en enregistrant le passage de la radiosource Hydra A. Le calcul numérique se fait comme indiqué précédemment, mais cette fois-ci en prenant 32 valeurs équidistantes entre 0 et 2π de $g(\theta)$ et de $\cos\frac{\theta}{2}, \cos\frac{3\theta}{2}, \ldots, \cos\frac{31\theta}{2}$ et de $\sin\frac{\theta}{2}, \sin\frac{3\theta}{2}, \ldots, \sin\frac{31\theta}{2}$. Les quantités a et b ainsi obtenues permettent de construire 16 vecteurs d'où on déduit les phases des 16 antennes par rapport à l'antenne de référence.

Le réglage de phase des antennes de l'autre moitié du réseau EO a été fait de même façon.

L'ensemble des phases du réseau EO a été ainsi réglé à une précision de $\lambda/20$ près.

CHAPITRE II

Méthodes de mesure

I. Méthodes de mesure de la position et du flux des radiosources.

a) *Mesure de l'ascension droite.*

On détermine l'ascension droite d'une radiosource en notant l'heure de son passage (en temps sidéral local) dans le lobe central. Le réseau Est-Ouest étant un instrument méridien, le maximum du lobe central devrait coïncider avec le plan méridien local. Mais en pratique, ceci n'est pas réalisé pour plusieurs raisons. D'abord la base de ce réseau n'est pas exactement horizontale ni dirigée Est-Ouest ; de plus, il peut y avoir une erreur de collimation, cette erreur étant définie par l'angle que fait la direction du lobe central avec l'axe du réseau. Comme le maximum du lobe central n'est pas exactement confondu avec le plan méridien local l'heure de passage d'une radiosource dans le lobe central diffère de son ascension droite. Cette différence s'exprime par la formule de Bessel.

$$\Delta T_s = T_s - \alpha = a + b \operatorname{tang} \delta \cdot \frac{c}{\cos \delta}$$

T_s étant le temps sidéral du passage de la source dans le lobe central, son ascension droite, δ sa déclinaison ; a et b sont des constantes dépendant de la pente et de l'orientation du réseau.

La constante c dépend de l'erreur de collimation, qui est due à des erreurs résiduelles dans la mise en phase des antennes du réseau EO. Nous avons déjà décrit la méthode utilisée pour mettre les antennes de ce réseau en phase. Sa précision est telle que l'erreur de collimation peut être rendue négligeable et on peut écrire :

$$\Delta T_s = a + b \operatorname{tang} \delta. \qquad (1)$$

Nous avons vérifié la formule (1) expérimentalement à l'aide des principales radiosources déjà identifiées avec des objets optiques. Le Tableau I donne les positions optiques de ces radiosources.

Ce sont les radiosources les mieux connues et on peut considérer que leur identification est certaine.

A l'aide des positions optiques de ces radiosources, nous avons construit la courbe de la figure 14 sur laquelle tang δ a été portée en abcisse

TABLEAU I

Positions optiques des radiosources identifiées

Radiosource	Ascension droite (1950,0)	Déclinaison (1950,0)
—	—	—
Taurus A	$05^h31^m31^s$	$+ 21°58'58''$
Hydra A	$09^h15^m41^s,2$	$- 11°53'06''$
3C 295.....	$14^h09^m33^s,4$	$+ 52°26'12''$
Cygnus A.....	$19^h57^m44^s,4$	$+ 40°35'48''$
Cassiopeia A...	$23^h21^m11^s,8$	$+ 58°32'18''$

et la différence $\Delta T_s = T_s - \alpha$, retard du passage observé sur le passage au méridien en ordonnée. On voit que la courbe est bien une droite et que

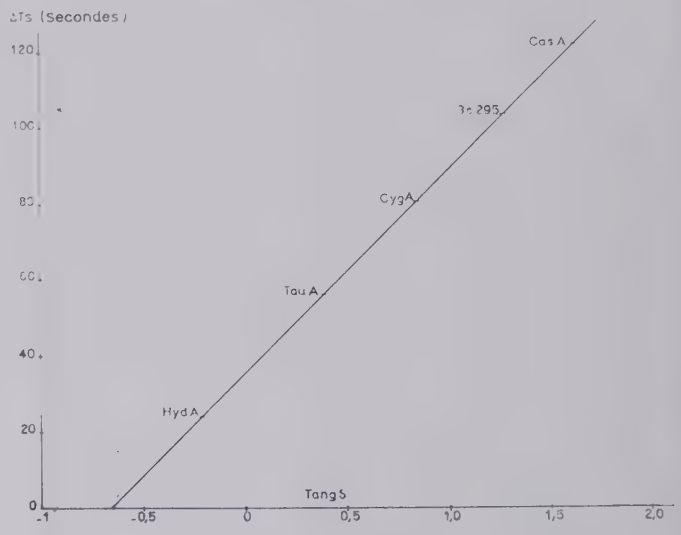


Fig. 14. — La courbe de correction pour le réseau EO.

la formule (1) est correcte à la précision de nos mesures de $\pm 0^s,5$. Nous avons considéré que la droite de la figure 14 était valable pour toutes les déclinaisons et nous l'avons utilisée pour mesurer l'ascension droite des autres radiosources.

b) *Mesure de la déclinaison.*

La détermination de la déclinaison d'une radiosource se fait en mesurant la déflexion dans les

15 voies au moment du passage de la source au méridien et en déterminant la position du maximum d'intensité dans le sens Nord-Sud. Ceci nécessite la connaissance précise de la position des lobes dans l'espace. Les positions des lobes principaux dans le sens Nord-Sud se calculent à l'aide de la formule :

$$\sin z = n \frac{\lambda}{b} \tag{2}$$

étant la distance zénithale, $b = 110$ m, distance entre deux antennes du réseau NS, $\lambda = 1{,}775$ m et n le rang du lobe.

Chaque lobe principal est décalé par des câbles coaxiaux déphaseurs (fig. 4) en 16 lobes, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, X, X étant le lobe qui n'est pas enregistré. Le système de mise en parallèle des câbles coaxiaux est tel que les lobes H correspondent à des déphasages égaux pour toutes les antennes. Les lobes H coïncident alors avec les lobes principaux et leur position est donnée par la formule (2). Les lobes étant décalés les uns par rapport aux autres d'un intervalle de 1/16 d'interlobe, la position d'un lobe est donnée par la formule :

$$\sin z = (16n + k) \frac{\lambda}{16} \tag{3}$$

où n est le rang du lobe le plus proche du lobe étudié et k est le nombre des lobes qui le séparent de ce lobe H ; par exemple, pour le lobe L, $k = +4$ et pour le lobe F, $k = -2$. Pour chaque valeur de n, k a les valeurs -7, -6, -5, ... 0, $+1$, $+2$, ... $+8$ correspondant aux 16 lobes A, B, C, ... H, I, J... X.

L'enregistrement d'une source nous permet de déterminer le lobe dans lequel se trouve la source. Pour calculer sa distance zénithale ou sa déclinaison à l'aide de la formule (3) il faut aussi connaître le rang de ce lobe ; c'est-à-dire qu'il faut aussi connaître la valeur de n. On la détermine en calculant d'abord la déclinaison approximative de la source.

La mesure approximative de la déclinaison se fait en mesurant le temps de passage de la source entre le lobe principal et le lobe qui se trouve avant ou après le lobe principal dans le sens Est-Ouest (7). Si ce temps est Δt on a

$$\cos \delta = \frac{\Delta t_0}{\Delta t}$$

δ étant la déclinaison de la source et Δt_0 le temps de passage entre ces deux lobes d'une source située sur l'équateur céleste. Δt_0 est égale à $\lambda / v_0 . a$, $\lambda = 1{,}775$ m étant la longueur d'onde, $a = 50$ m la distance entre deux antennes du réseau EO et $v_0 = 15^\circ$ par heure, la vitesse angulaire apparente d'une source de déclinaison nulle. On a alors :

$$\cos \delta = \frac{8^m 08^s}{\Delta t} \tag{4}$$

d'où la déclinaison approximative de la source.

Il suffit de connaître δ avec une précision égale à l'interlobe du réseau NS. Comme indiqué par Boischot [7] la formule (3) ne donne pas cette précision pour les très basses déclinaisons. Pour obtenir la valeur δ approximative de ces radiosources à très basses déclinaisons, nous avons eu recours aux catalogues de Cambridge [1] et de Sydney [2].

Une fois que la valeur approximative de la distance zénithale de la source est connue, il est facile de calculer la valeur de n qui est un nombre entier.

Étalonnage de position des lobes du réseau NS. — Nous avons dit que la formule (3) nous donne la position des lobes dans l'espace. Ceci serait vrai s'il n'y avait pas d'erreur de collimation dans le réseau NS et si la valeur réelle de λ/b correspondait à sa valeur théorique. L'erreur de collimation dépend de la mise en phase des antennes du réseau. Or les antennes du réseau NS étant mises en phase par rapport à l'axe de la première antenne du réseau, comme décrit auparavant, il peut y avoir une erreur de collimation. Dans ce cas, les positions réelles des lobes diffèrent de leurs positions théoriques calculées par la formule (3).

Pour déterminer cette erreur, nous avons encore une fois eu recours aux principales radiosources identifiées du Tableau I. A l'aide de ces sources, nous avons construit la courbe de la figure 15, où la distance zénithale z a été portée en abcisse et la différence $\Delta\delta$ entre la déclinaison calculée et la déclinaison optique est portée en ordonnée. On voit d'après cette courbe que non seulement il y a une

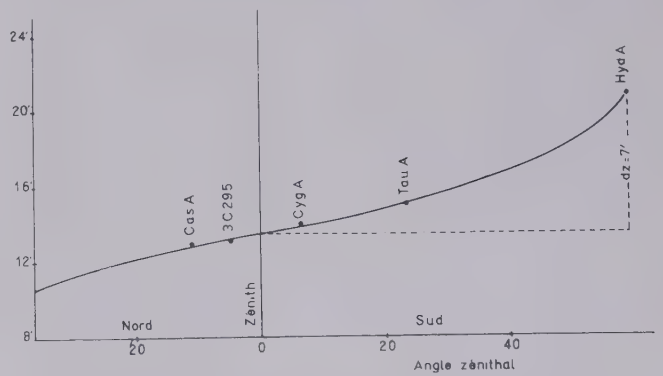


Fig. 15. — La courbe indiquant la variation de l'erreur de collimation du réseau NS avec la distance zénithale.

erreur due à la collimation mais que cette erreur augmente avec la distance zénithale. Cette augmentation est probablement due au fait que la valeur réelle de λ/b diffère de sa valeur théorique ; si on utilisait la valeur réelle de (λ/b) dans la formule (3), $\Delta\delta$ devrait être constant.

Nous avons déterminé la valeur réelle de λ/b à partir de la courbe 15 et la formule (3) de la façon suivante : la formule (3) s'écrit :

$$\sin z = (16n + k)\frac{\lambda}{16}$$

d'où on déduit :

$$\cos z\Delta z = (16n + k)\frac{1}{16}\Delta\left(\frac{\lambda}{b}\right)$$

$\Delta Z = \Delta\delta$ étant l'erreur sur δ et $\Delta(\lambda/b)$ l'erreur de λ/b. On a alors :

$$\Delta\left(\frac{\lambda}{b}\right) = \frac{\cos z\Delta z}{\frac{1}{16}(16n + k)}.$$

Nous avons calculé $\Delta(\lambda/b)$ à l'aide de la radiosource Hydra A dont on connaît bien la valeur de z et pour laquelle Δz est donné par la courbe 15.

Nous avons alors : $z = 59^{\circ}, 27$, $\Delta z = 7'$, $n = 53$, $k = +1{,}7$ (voir la figure 11) et $\Delta(\lambda/b) = 0{,}0000189$

$$\begin{aligned}(5)\quad (\lambda/b)\text{ réelle} &= \lambda/b + \Delta(\lambda/b)\\ &= 0{,}0161364 + 0{,}0000189\\ &= 0{,}0161553.\end{aligned}$$

Nous avons reconstruit la courbe de la figure 15 en utilisant (λ/b) réelle dans la formule (3). La figure 16 montre que $\Delta\delta$ est bien une constante à la précision de $\pm$ 0′,25, et a une valeur de 13′,5.

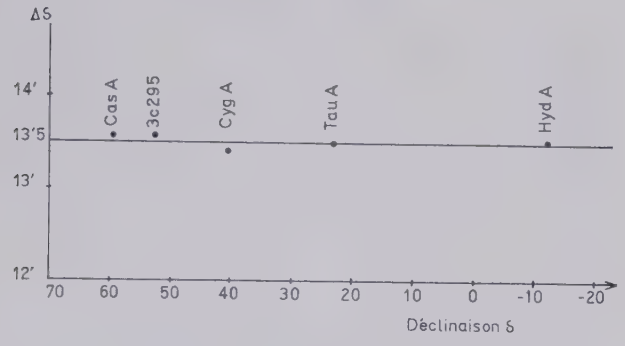


Fig. 16. — La courbe de correction pour le réseau NS.

Ainsi, la distance zénithale d'une source est donné par la formule :

$$Z = \sin^{-1}\left[(16n + k)\frac{1}{16}\left(\frac{\lambda}{b}\right)_{réelle}\right] + 13',5.$$

c) *Mesure de la densité de flux :*

Pour un appareil aussi complexe que notre interféromètre il est pratiquement impossible de faire des mesures absolues de densité de flux des radiosources. Nous n'avons donc mesuré que le flux relatif des sources. Boischot [7] a décrit une méthode pour mesurer la densité de flux des radiosources enregistrées à l'aide du réseau EO seul. Comme il nous a été possible d'enregistrer le passage d'une source à la fois par la croix et par le réseau EO seul, nous avons utilisé les enregistrements du réseau EO seul pour mesurer la densité de flux par la méthode décrite par Boischot.

Dans cette méthode, on détermine la densité de flux en mesurant la surface enregistrée lors du passage de la source dans le lobe du réseau. La densité de flux est alors proportionnelle à :

$$\Phi = D_{max}\,\theta\cos\delta$$

où Φ est exprimé en cm^2, D_{max} est la hauteur maximum du lobe exprimée en centimètres, θ est la largeur en cm du lobe à demi-puissance et δ est la déclinaison de la source. Pour l'étalonnage, nous avons utilisé la densité de flux de la radiosource Cygnus A (81×10^{-24} Wm^{-2} Hz^{-1} donnée par Elsmore et al. [3] sur 178 Mc/s. Pour cette source Φ calculé est égal à :

$$\Phi = 72{,}73\text{ cm}^2.$$

On a alors :

$$\begin{aligned}1\text{ cm}^2 &= \frac{81 \times 10^{-24}}{72{,}73}\\ &= 1{,}11 \times 10^{-24}\text{ Wm}^{-2}\text{ Hz}^{-1}\end{aligned}$$

et

$$S_{169} = \Phi \times 1{,}11 \times 10^{-24}\text{ Wm}^{-2}\text{ Hz}^{-1}$$

S_{169} étant la densité de flux à 169 Mc/s exprimée en Wm^{-2} Hz^{-1}.

II. Corrections et erreurs.

a) *Réfraction troposphérique.*

Elle dépend de la distance zénithale de la source et des conditions troposphériques. Dans le cas d'une antenne unique, on peut la calculer à l'aide des formules classiques. Mais dans le cas de notre interféromètre, les positions des lobes étant calculées à l'aide de la longueur d'onde calculée, comme déjà décrit, et non pas à l'aide de la longueur d'onde dans la troposphère, l'effet de la réfraction troposphérique doit s'annuler.

Considérons, par exemple, un interféromètre à deux antennes alignées sur une base Nord-Sud et situées dans une troposphère stratifiée horizontalement (fig. 17). On négligera la courbure de la

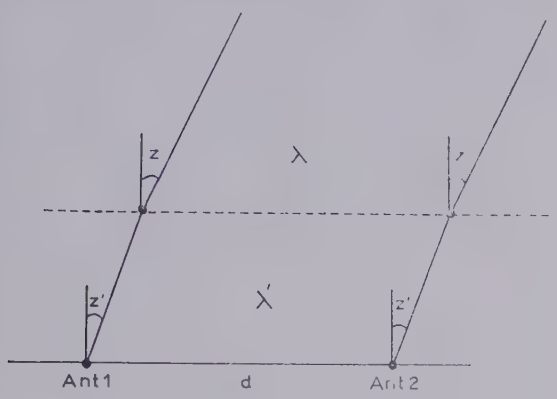


FIG. 17. — Réfraction troposphérique.

Terre, ce qui est justifié puisque nous n'observons que des sources de distance zénithale ne dépassant pas 70°. Dans ces conditions, la quantité $\mu \sin z$ (μ est l'indice de réfraction et z désigne la distance zénitale de la tangente au rayon lumineux) est invariante le long du rayon, en raison de la loi de DESCARTES. Donc si λ est la longueur d'onde $\sin z/\lambda$ est invariant.

Si l'interféromètre était en dehors de la troposphère, les positions des franges seraient données par :

$$\sin z = \frac{n\lambda}{d}, \tag{7}$$

(z distance zénithale vraie, λ longueur d'onde dans le vide. A cause de la réfraction, les positions des franges sont données par la formule :

$$\sin z' = \frac{n\lambda'}{\quad}. \tag{8}$$

(z' distance zénitale apparente, λ' longueur d'onde au sol). En raison de l'invariance de $\sin z/\lambda$, il revient au même de considérer l'une ou l'autre de ces formules. En fait nous utilisons la première pour calculer à partir de la valeur de la distance zénithale vraie des sources de référence. La valeur de λ que nous calculons ainsi est la valeur du vide. Inversement, nous obtenons donc directement par la même formule les distances zénithales vraies des radiosources. Le fait qu'il n'y est pas lieu de tenir compte de la réfraction est dû à ce que la longueur des trajets parcourus dans la troposphère par les rayons arrivant aux différentes antennes sont les mêmes.

b) *Réfraction ionosphérique.*

La réfraction ionosphérique a deux origines : 1) Réfraction due à l'ionosphère supposée à symétrie sphérique et 2) Réfraction due à des gradients horizontaux dans la densité des électrons. M. M. KOMESAROFF [15] a récemment étudié, théoriquement et expérimentalement, les effets de la réfraction ionosphérique sur la mesure de position des radiosources à 19,7 MHz. En faisant la correction de réfraction ionosphérique à l'aide des formules théoriques qu'il a trouvées, il a pu diminuer considérablement la dispersion dans les valeurs de position des radiosources, ce qui indiquerait que ses formules donnent une bonne estimation de la réfraction ionosphérique.

Cependant W. C. ERICKSON [16] a fait, lui aussi, des études sur ce problème à 26,3 MHz.

Bien que les formules théoriques trouvées par lui s'accordent bien avec celles de KOMESAROFF, il a trouvé expérimentalement que la théorie surestime, au moins d'un facteur 2, les effets de la réfraction ionosphérique sur la position des radiosources.

Très récemment, les chercheurs du groupe de Cambridge ont fait une étude statistique sur les effets de la réfraction ionosphérique sur la position des radiosources observées par eux à 178 MHz [17]. Leur étude montre que la correction due à la réfraction ionosphérique peut atteindre une minute d'arc en ascension droite comme en déclinaison, mais est sensible seulement pendant les heures voisines du lever et du coucher du Soleil ; en dehors de ces heures, la réfraction est négligeable. Ceci peut se comprendre car au voisinage du lever et du coucher du Soleil les gradients horizontaux de densité des électrons dans l'ionosphère atteignent des valeurs assez importantes. Nous n'avons pas pu calculer la correction de réfraction ionosphérique car nous n'avons pas de mesure de gradients de densité des électrons de l'ionosphère. Mais toutes nos observations ayant été faites seulement la nuit, assez loin du lever et du coucher du Soleil, on peut penser d'après les observations citées plus haut, que les effets de la réfraction ionosphérique sur nos mesures sont négligeables.

c) *Erreur sur la mesure de la déclinaison, due à la différence de phase entre le réseau EO et le réseau NS.*

Comme nous l'avons déjà décrit, le réseau NS n'est pas disposé symétriquement par rapport au réseau EO (fig. 2). Une telle disposition introduit une différence de phase entre les tensions de sortie

des deux réseaux. On peut étudier l'effet de ce déphasage sur le lobe de la croix dans le sens NS en étudiant le lobe avec différents déphasages entre les deux réseaux. Pour ces études, nous avons pris pour simplifier un lobe de la forme :

$$\frac{\sin \frac{N\Psi}{2}}{\sin \frac{\Psi}{2}} \cos\left(\frac{N\Psi}{2} - \alpha\right).$$

Sur la figure 18, nous avons tracé ce lobe avec des déphasages de $\alpha = 0{,}15^\circ$ 30°, 45°, 60°, 75° et 90°.

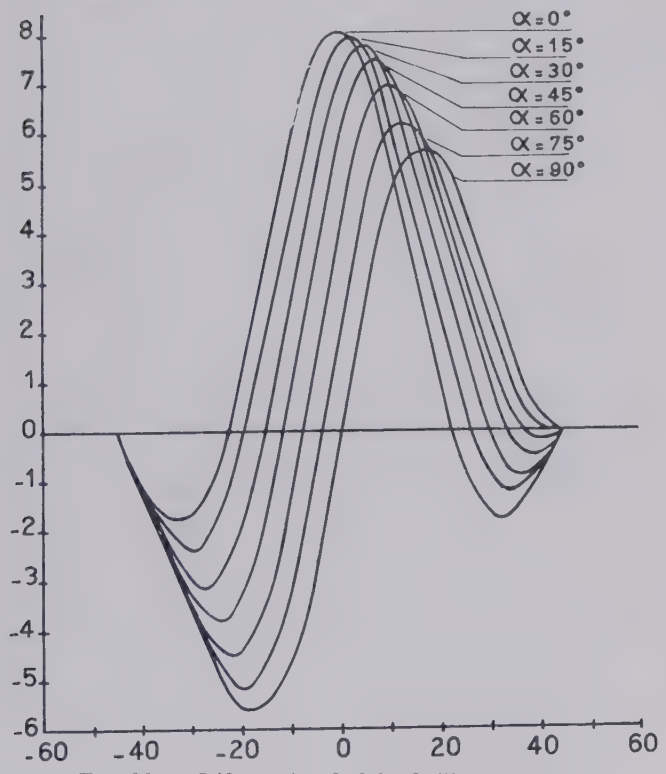


FIG. 18. — Déformation du lobe de l'interféromètre due à des déphasages entre le réseau NS et le réseau EO.

On voit que l'effet du déphasage est de déformer le lobe et par conséquent de déplacer le maximum du lobe. Il s'ensuit que si la phase relative des deux réseaux n'est pas corrigée, il pourra y avoir une erreur sur la mesure de la déclinaison.

On corrige ce déphasage en ajoutant une longueur convenable de câble entre l'oscillateur local et le mélangeur du réseau EO de façon à ce que le lobe ne soit pas déformé. La figure 9 représente les lobes théoriques du système dans le sens Nord-Sud. On voit que tous les lobes de rangs $n = 3k$ ($k = 0, 1, 2, 3...$) ont une forme correcte ; la longueur de câble à ajouter pour ces lobes est donc égale à λ (soit 120 cm de câble). Tous les lobes de rang $n = 3k + 1$ sont déformés à cause d'une différence de phase de $+ 60^\circ$; la longueur de câble à ajouter pour ces lobes est donc égale à $\lambda + \lambda/6$ (soit 140 cm de câble). Tous les lobes de rang $n = 3k + 2$ sont déformés à cause d'une différence de phase de $- 60^\circ$; la longueur de câble à ajouter pour ces lobes est donc égale à $\lambda - \lambda/6$ (soit 100 cm de câble).

Dans ces calculs, nous n'avons pas tenu compte de la différence qui existe entre les antennes du réseau EO et celles du réseau NS. Les antennes du réseau EO sont plus petites que celles du réseau NS. De plus, les hauteurs des antennes des deux réseaux au-dessus du sol ne sont pas les mêmes. A cause de ces différences, les longueurs des câbles calculées ci-dessus ne sont pas correctes. Comme il est très difficile de calculer précisément le déphasage dû à ces différences entre les antennes des deux réseaux, nous l'avons déterminé expérimentalement en enregistrant des sources plusieurs fois avec différentes longueurs de câbles entre l'oscillateur local et le mélangeur du réseau EO. La figure 19 en donne un exemple. Nous avons tracé les lobes pour la radiosource Hydra A à partir des enregistrements de cette source, avec différentes longueurs

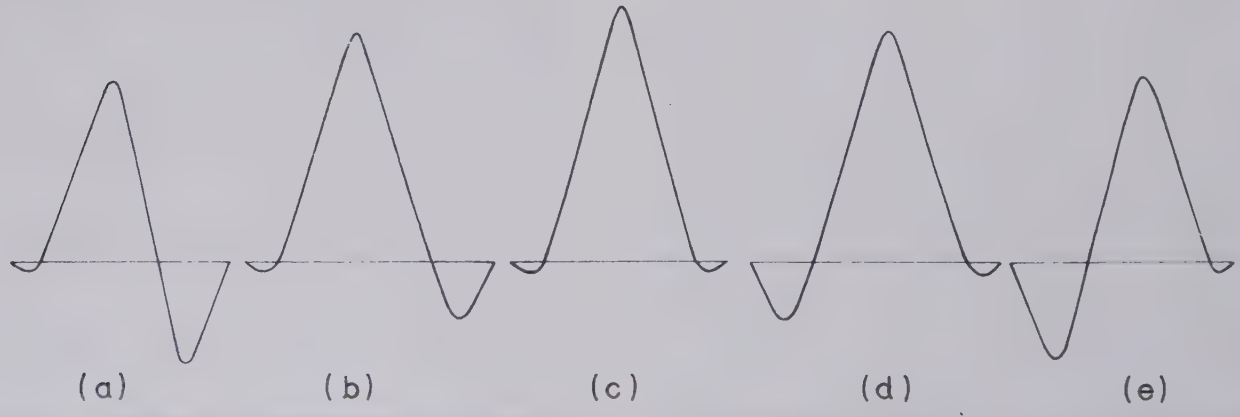


FIG. 19. — Les lobes de l'interféromètre dans le sens NS obtenus avec la radiosource Hydra A avec des longueurs de câbles, entre l'oscillateur local et le mélangeur du réseau EO, de (a) 125 cm, (b) 135 cm, (c) 145 cm, (d) 155 cm, (e) 165 cm.

de câbles. On voit que, pour cette source, et, par conséquent, pour toutes les sources pour lesquelles n est égal à $3k + 2$, la longueur de câble à ajouter est de 145 cm. La longueur de câble à ajouter pour les sources de $n = 3k + 1$ a été déterminée à l'aide de la source Cygnus A ($n = 7$) et est de 180 cm. Enfin, les enregistrements de la radiosource 3C 48 ($n = 15$) ont déterminé la longueur de câble à ajouter pour les sources de $n = 3k$ longueur qui est égale à 145 cm. De plus, nous avons bien vérifié que ces longueurs sont correctes en enregistrant plusieurs autres sources avec différentes longueurs de câbles.

d) *Effet de la scintillation.*

Le phénomène de scintillation sur ondes métriques est dû surtout à l'ionosphère. Il se traduit d'une part par une oscillation d'amplitude, faisant varier l'intensité apparente de la source, et d'autre part par une scintillation angulaire déplaçant légèrement la source autour de sa position réelle. La pseudo-période de ces phénomènes étant en général beaucoup plus grande que le temps mis par la source à traverser le lobe de l'interféromètre, les lobes enregistrés ne sont apparemment pas déformés (sauf dans le cas de scintillations anormales). Nous aurons seulement une dispersion un peu plus grande des résultats de mesures.

On peut éliminer l'effet des scintillations en répétant plusieurs fois chaque observation. Pour illustrer l'ordre de grandeur de la dispersion, nous donnons dans le Tableau II les résultats d'une série d'observations de la radiosource Cygnus A. Toutes les radiosources principales ont été ainsi observées plusieurs fois. On voit, d'après ce tableau, que la dispersion due à la scintillation est assez faible. Nous avons donc observé seulement 2 à 3 fois chacune des autres radiosources.

TABLEAU II

Date	Ascension droite (1950,0)	Déclinaison (1950,0)
—	—	—
16 décembre 1960	$19^h57^m44^s,0$	$40°35'42''$
22 avril 1961	$19^h57^m44^s,0$	$40°35'43''$
3 mai 1961.....	$19^h57^m46^s,0$	$40°35'43''$
2 juin 1961	$19^h57^m46^s,0$	$40°35'54''$
16 juin 1961	$19^h57^m44^s,8$	$40°35'38''$
19 juillet 1961 ...	$19^h57^m45^s,0$	$40°35'38''$
20 juillet 1961 ...	$19^h57^m44^s,2$	$40°36'00''$
Moyenne	$19^h57^m44^s,8$	$40°35'45''$
Erreur probable .	$\pm\ 0^s,75$	$\pm\ 10''$

e) *La précision atteinte.*

1) *Ascension droite.* — Le système à multiplication directe nous a donné un récepteur d'une grande stabilité grâce à laquelle il nous a été possible de déterminer la position du maximum du lobe avec une grande précision. L'erreur sur la détermination de la position du maximum du lobe dépend de l'intensité de la source. Dans le cas des sources intenses, elle peut être évaluée à $\pm\ 0^s,25$. Elle atteint $\pm\ 0^s,75$ pour les sources donnant une déviation de l'ordre de deux ou trois fois le niveau des fluctuations.

L'erreur sur la détermination de la courbe de correction de la figure 14 est de l'ordre de $\pm\ 0^s,5$ et l'erreur sur la détermination de l'heure est de l'ordre de $\pm\ 0^s,25$.

En définitive, l'erreur sur l'ascension droite est de $\pm\ 1^s$ pour les sources intenses et de $\pm\ 1^s,5$ à $\pm\ 2^s$ pour les sources plus faibles.

2) *Déclinaison.* — Les lobes de l'interféromètre dans le sens Nord-Sud étant décalés les uns par rapport aux autres d'un intervalle d'une demi-largeur à demi-puissance du lobe principal, la condition imposée par le théorème d'échantillonnage est satisfaite. La précision avec laquelle on peut déterminer le maximum du lobe à partir des déflexions sur les enregistrements ne dépend donc que de l'intensité de la source. De plus, le décalage des lobes dépendant de la distance zénithale, la précision sur la détermination du maximum du lobe dépend de la distance zénithale de la source. Pour les sources intenses, l'erreur sur la détermi- du maximum du lobe peut être évaluée à $\pm\ 0',25$ nation au zénith et atteint $\pm\ 0',5$ à une distance zénithale de 60°. A cette erreur, il faut ajouter l'erreur sur la détermination de la courbe de correction de la figure 16 (soit $\pm\ 0',25$).

En définitive, l'erreur sur la déclinaison des sources intenses est de l'ordre de $\pm\ 0',5$ au zénith et atteint $\pm\ 1',0$ à la distance zénithale de 60°.

3) *Densité de flux.* — La densité de flux étant mesurée à l'aide du réseau EO seul, la précision atteinte est limitée pour les sources faibles par les instabilités du récepteur. Elle est de l'ordre de 10 % pour les sources ayant un flux supérieur à 100×10^{-26} Wm^{-2} Hz^{-1} et de l'ordre de 20 % pour les sources ayant un flux de l'ordre de 50×10^{-26} Wm^{-2} Hz^{-1} ; pour les sources plus faibles elle est de l'ordre de 30 %. Il s'agit ici de la précision sur la valeur du flux relatif à Cygnus A, puisque nous n'avons pas effectué de mesures absolues de flux.

CHAPITRE III

Résultats et discussion

I. Résultats obtenus.

La sensibilité de notre appareil étant faible par rapport à la sensibilité des appareils utilisés à Cambridge et à Sydney, une étude systématique des radiosources ne pouvait nous donner de résultats supplémentaires en ce qui concerne la découverte de nouvelles radiosources. De plus, le lobe de chaque antenne étant large, (11° à demi-puissance pour les antennes du réseau NS), notre appareil ne nous permettait pas de faire des études précises sur les radiosources très proches des radiosources très intenses à cause du phénomène de confusion. Nous n'avons donc observé que des radiosources déjà découvertes. Pour nos observations, nous avons choisi toutes les radiosources du catalogue 3C de Cambridge [1] ayant une densité de flux supérieur à 16×10^{-26} Wm^{-2} Hz^{-1} et toutes les radiosources du catalogue de Sydney [2] ayant une densité de flux supérieure à 30×10^{-26} Wm^{-2} Hz^{-1}. De ces sources, nous avons dû rejeter toutes les sources très proches des sources très intenses (Cas. A, Cyg. A, Tau. A, Vir. A).

Le Tableau III donne l'ascension droite, la déclinaison et la densité de flux de 112 radiosources avec les erreurs correspondantes que nous avons déjà discutées. Les sources n° 3 et 4 n'avaient pas encore été indiquées dans les précédents catalogues. Elles forment peut-être une source triple avec la source n° 5 (3C 17) ; cette dernière avait d'ailleurs déjà été signalée « peut-être double » dans le catalogue de Sydney. Au cours de nos mesures, nous avons observé quelques autres sources nouvelles, surtout vers les basses déclinaisons, mais leur flux était très faible ; nous avons préféré ne pas les mettre dans notre catalogue.

II. Discussion des résultats.

a) *Comparaison entre coordonnées radio et coordonnées optiques des sources identifiées.*

Il existe une vingtaine de radiosources dont l'identification peut être considérée comme certaine. La comparaison entre la position radio que nous avons mesurée et la position optique nous donnera tout de suite une indication sur la précision de nos mesures. Le Tableau IV donne les positions optiques et les positions radio de ces sources. Sur la figure 20, nous avons représenté la

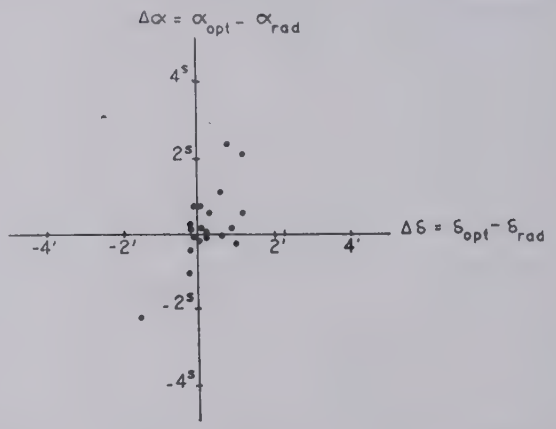


Fig. 20. — Comparaison entre les coordonnées optiques et lescoordonnées radio des sources identifiées.

différence entre la position radio et la position optique pour chacune de ces sources. On voit que nos positions radio coïncident bien avec les positions optiques sauf pour les trois sources 3C 75, 3C 386 et 3C 433.

Il est intéressant de noter que les positions radio de ces trois sources mesurées par le groupe de Cambridge et par celui de Caltech diffèrent des nôtres mais ne s'accordent pas non plus avec les positions optiques.

b) *Comparaison de nos mesures avec celles qui ont été faites à* Cambridge *et au* California Institute of technology.

Comme nous l'avons déjà indiqué, des mesures précises de position d'une centaine de radiosources ont été faites par les chercheurs de Cambridge [3] (*) et par ceux de Caltech [4]. Il est intéressant de comparer les trois catalogues, d'autant plus que les instruments utilisés dans les trois cas sont tout à fait différents. Les figures 21*a*, 21*b*, et 21*c* représentent les résultats de ces comparaisons pour les 45 radiosources communes. Les côtés des carrés sur ces figures représentent la somme des erreurs

(*) Ce catalogue a été récemment révisé pour tenir compte de la réfraction ionosphérique, Nous avons utilisé ces valeurs révisées pour notre comparaison [7].

TABLEAU III

N°	Ascension droite 1950,0 h. m. s.	Erreur	Déclinaison 1950,0	Erreur	Flux 10^{-26} Wm^{-2} Hz^{-1}	Remarques
1	00 03 49,6	± 1s,5	— 00°23′,5	± 1′,5	16	3C 2
2	00 34 31,9	± 1s,5	— 01°25′,7	± 1′,0	19	3C 15
3	00 35 06,3	± 2s,0	— 02°24′,0	± 2′,0	16	—
4	00 35 17,0	± 2s,0	— 02°13′,3	± 2′,0	16	—
5	00 35 45,2	± 1s,0	— 02°29′,3	± 1′,0	26	3C 17
6	00 38 17,0	± 1s,5	+ 09°41′,8	± 1′,0	24	3C 18
7	00 53 03,3	± 1s,5	+ 26°04′,5	± 1′,0	21	3C 28
8	00 54 58,0	± 1s,5	— 01°54′,0	± 1′,5	44	3C 29
9	01 05 46,1	± 1s,5	— 16°21′,7	± 1′,5	19	3C 32
10	01 06 13,9	± 1s,0	+ 13°04′,2	± 0′,5	53	3C 33
11	01 17 55,4	± 1s,5	— 15°39′,5	± 1′,5	19	3C 38
12	01 23 23,5	± 1s,5	— 01°37′,3	± 1′,0	45	3C 40
13	01 33 38,0	± 1s,0	+ 20°40′,7	± 0′,5	24	3C 47
14	01 34 49,4	± 1s,0	+ 32°54′,0	± 0′,5	54	3C 48
15	02 13 12,4	± 1s,5	— 13°08′,4	± 1′,5	19	3C 62
16	02 18 22,3	± 1s,0	— 02°12′,6	± 1′,0	30	3C 63
17	02 20 12,7	± 2s,0	+ 42°46′,5	± 1′,0	30	3C 66
18	02 20 38,9	± 1s,5	+ 39°46′,0	± 1′,0	40	3C 65
19	02 35 24,3	± 1s,5	— 19°45′,0	± 1′,5	30	MSH 02 — 1 *10*
20	02 55 05,3	± 1s,0	+ 05°51′,0	± 0′,5	26	3C 75
21	03 05 48,2	± 1s,5	+ 03°54s,0	± 1′,0	19	3C 78
22	03 07 11,8	± 1s,0	+ 16°54′,0	± 0′,5	29	3C 79
23	03 16 29,9	± 1s,0	+ 41°20′,2	± 0′,5	60	3C 84
24	03 23 36,4	± 1s,0	+ 55°10′,5	± 0′,5	28	3C 86
25	03 31 40,8	± 1s,0	— 01°20′,0	± 1′,0	33	3C 89
26	03 40 50,0	± 2s,0	+ 04°45′,0	± 2′,0	16	3C 92
27	03 49 12,1	± 1s,0	— 14°41′,0	± 1′,0	24	MSH 03 — 1 *9*
28	03 56 11,0	± 1s,0	+ 10°18′,5	± 0′,5	44	3C 98
29	04 04 49,2	± 1s,5	+ 03°33′,3	± 1′,0	19	3C 105
30	04 05 27,0	± 1s,5	— 12°21′,5	± 1′,0	19	MSH 04 — 1 *2*
31	04 10 54,4	± 1s,0	+ 11°03′,7	± 1′,0	36	3C 109
32	04 15 01,5	± 1s,0	+ 37°54′,4	± 0′,5	87	3C 111
33	04 33 54,4	± 1s,0	+ 29°35′,3	± 0′,5	210	3C 123
34	05 01 17,5	± 1s,0	+ 38°02′,8	± 0′,5	106	3C 134
35	05 31 31,6	± 0s,75	+ 21°59′,0	± 0′,5	1274	Taurus A
36	05 38 44,3	± 1s,0	+ 49°51′,3	± 0′,5	74	3C 147
37	06 18 49,3	± 1s,5	+ 14°34′,3	± 1′,5	39	3C 158
38	06 24 42,8	± 1s,0	— 05°51′,9	± 0′,5	65	3C 161
39	06 34 26,9	± 1s,5	— 20°35′,7	± 1′,0	43	MSH 06 — 2 *10*
40	06 42m 20,5	± 1s,5	+ 21°24′,7	± 1′,0	19	3C 166
41	06 51 15,0	± 1s,0	+ 54°12′,5	± 0′,5	24	3C 171
42	06 56 57,6	± 1s,5	— 24°11′,6	± 1′,5	24	MSH 06 — 2 *16*
43	07 09 42,0	± 1s,5	— 20°37′,7	± 1′,5	19	MSH 07 — 2 *3*
44	07 10 15,2	± 1s,5	+ 11°51′,5	± 1′,0	19	3C 175
45	07 22 34,4	± 1s,5	— 09°33′,1	± 1′,5	16	3C 178
46	07 42 30,0	± 2s,0	+ 02°00′,8	± 1′,5	23	3C 187
47	07 45 22,0	± 1s,5	— 19°09′,2	± 1′,5	27	MSH 07 — 1 *17*
48	08 02 32,3	± 1s,5	+ 24°16′,8	± 1′,0	23	3C 192
49	08 06 32,0	± 1s,5	— 10°15′,9	± 1′,5	19	3C 195
50	08 10 01,5	± 1s,0	+ 48h21′,7	± 0′,5	79	3C 196
51	08 19 55,0	± 1s,5	+ 06°04′,1	± 1′,5	21	3C 198
52	08 50 28,7	± 1s,5	+ 14°01s,5	± 1′,0	20	3 C 208
53	08 59 35,1	± 1s,0	— 25°35′,9	± 1′,5	32	MSH 08 — 2 *19*
54	09 15 41,2	± 0s,75	— 11°53′,1	± 0′,5	273	Hydra A
55	09 17 50,0	± 1s,0	+ 45°51′,8	± 0′,5	54	3C 219
56	09 39 35,0	± 1s,5	+ 14°00′,4	± 1′,0	16	3 C 225

TABLEAU III (*suite*)

N°	Ascension droite 1950,0 h. m. s.	Erreur	Déclinaison 1950,0	Erreur	Flux 10^{-26} Wm^{-2} Hz^{-1}	Remarques
57	09 45 10,7	± 1s,0	+ 07°41′,6	± 1′,0	27	3C 227
58	09 47 29,0	± 2s,0	+ 14°30′,0	± 1′,5	16	3C 228
59	09 49 25,7	± 1s,0	+ 00°10′,1	± 1′,0	27	3C 230
60	09 58 57,7	± 1s,0	+ 29°00,′6	± 0′,5	36	3C 234
61	10 05 27,0	± 1s,5	+ 07°47′,4	± 1′,0	24	3C 237
62	11 11 55,6	± 1s,0	+ 40°54′,2	± 0′,5	31	3C 254
63	11 36 42,9	± 1s,5	— 13°20′,0	± 1′,5	30	MSH 11 — 1 *8*
64	11 40 48,1	± 1s,0	+ 22°24′,3	± 0′,5	36	3C 264 A
65	11 42 31,4	± 1s,0	+ 19°52′,4	± 0′,5	33	3C 264 B
66	11 42 51,0	± 2s,0	+ 31°52′,0	± 1′,0	26	3C 265
67	12 26 34,9	± 1s,0	+ 02°19′,7	± 0′,5	82	3C 273
68	12 28 17,5	± 0s,75	+ 12°40′,1	± 0′,5	903	Virgo A
69	12 51 59,4	± 1s,0	+ 12°17′,5	± 1′,0	48	3C 278
70	12 53 41,2	± 1s,5	— 05°37′,0	± 1′,0	23	3C 279
71	12 54 43,0	± 1s,0	+ 47°34′,0	± 1′,0	38	3C 280
72	13 08 53,7	± 1s,0	— 21°56′,4	± 1′,0	42	3C 283
73	13 28 12,9	± 1s,0	+ 25°23′,6	± 1′,0	36	3C 287
74	13 28 46,3	± 1s,5	+ 30°45′,2	± 0′,5	33	3C 286
75	13 35 36,2	± 1s,5	— 06°11′,4	± 1′,5	18	MSH 13 — 0 *11*
76	14 09 33,5	± 1s,0	+ 52°26′,2	± 0′,5	70	3C 295
77	14 16 38,1	± 1s,0	+ 06°40′,5	± 0′,5	54	3C 298
78	14 20 42,5	± 1s,5	+ 17°13′,4	± 1′,5	17	3C 300
79	15 02 46,5	± 1s,0	+ 26°11′,9	± 0′,5	70	3C 310
80	15 08 35,0	± 1s,5	+ 08°01′,8	± 1′,0	51	3C 313
81	15 11 26,7	± 2s,0	+ 26°18′,5	± 1′,5	30	3C 315
82	15 14 16,9	± 1s,0	+ 07°11′,4	± 0′,5	54	3C 317
83	15 17 46,0	± 2s,0	+ 20°27′,2	± 1′,5	17	3C 318
84	15 19 22,5	± 1s,5	+ 07°50′,7	± 1′,0	20	MSH 15 + 0 *7*
85	15 47 34,4	± 1s,0	+ 21°33′,6	± 1′,0	36	3C 324
86	15 59 54,1	± 1s,0	+ 02°06′5	± 0′,5	30	3C 327 A
87	16 02 14,1	± 1s,0	+ 01°22′,5	± 0′,5	30	3C 327 B
88	16 15 48,0	± 1s,5	+ 32°27′,5	± 1′,5	19	3C 332
89	16 18 09,0	± 1s,5	+ 17°13′,5	± 1′,5	17	3C 334
90	16 26 56,1	± 1s,0	+ 39°38′,9	± 0′,5	52	3C 338
91	16 48 40,3	± 1s,0	+ 05°04′,9	± 0′,5	340	Hercules A
92	17 17 56,6	± 1s,0	— 00°55′,8	± 0′,5	210	3C 353
93	17 27 43,2	± 1s,0	— 21°28′,0	± 1′,0	60	3C 358
94	18 36 09,6	± 1s,0	+ 17°11′,6	± 0′,5	30	3C 386
95	18 43 10,9	± 1s,5	+ 09°45′,2	± 1′,0	23	3C 390
96	18 46 43,5	± 1s,5	— 00°56′,4	± 0′,5	32	3C 391
97	18 56 56,2	± 1s,5	+ 12°46′,9	± 1′,5	24	3C 394
98	19 01 30,5	± 2s,0	+ 05°22′,8	± 2′,0	39	3C 396
99	19 04 58,1	± 1s,0	+ 07°01′,0	± 0′,5	31	3C 397
100	19 08 43,9	± 1s,0	+ 09°00′,2	± 0′,5	62	3C 398
101	19 49 41,8	± 1s,0	+ 02°21′,9	± 1′,0	38	3C 403
102	19 57 44,4	± 0s,75	+ 40°35′,7	± 0′,5	8100	Cygnus A
103	20 12 16,5	± 1s,0	+ 23°21′,7	± 0′,5	93	3C 409
104	20 19 40,0	± 3s,0	+ 09°53′,0	± 2′,0	22	3C 411
105	20 45 44,9	± 1s,5	+ 06°49′,0	± 1′,0	22	3C 424
106	21 21 28,4	± 1s,0	+ 24°50′,9	± 0′,5	63	3C 433
107	21 41 54,2	+ 1s,0	+ 27°54′,3	± 1′,0	29	3C 436
108	21 53 47,8	± 1s,0	+ 37°46′,4	± 0′,5	52	3C 438
109	22 11 42,4	± 1s,0	— 17°15′,0	± 1′,0	52	3C 444
110	22 21 13,8	± 1s,0	— 02°25′,0	± 1′,0	24	3C 445
111	23 21 11,8	± 0s,75	+ 58°32′,3	± 0′,5	11000	Cassiopea A
112	23 36 04,1	± 1s,5	+ 26°40′,4	± 1′,0	32	3C 465

TABLEAU IV

N°	Nom de la source	α optique (1950,0) h. m. s.	δ optique (1950,0)	α radio (1950,0) h. m. s.	δ radio (1950,0)
1	3C 33	01 06 14,6	+ 13°04′,2	01 06 13,9 ± 1ˢ	+ 13°04′,2 ± 0′,5
2	3C 48	01 34 49,9	+ 32°54′,3	01 34 49,4 ± 1ˢ	+ 32°54′,0 ± 0′,5
3	3C 75	02 55 03.0	+ 05°49′,5	02 55 05,3 ± 1ˢ	+ 05ʰ51′,0 ± 0′,5
4	3C 78	03 05 50,3	+ 03°55′,2	03 05 48,2 ± 1ˢ,5	+ 03°54′,0 ± 1′,0
5	3C 84	03 16 29,7	+ 41°19′,7	03 16 29,9 ± 1ˢ	+ 41°20′,2 ± 0′,5
6	Tau A	05 31 31,6	+ 21°59′,0	05 31 31,6 ± 0ˢ,75	+ 21°59′,0 ± 0′,5
7	Hyd A	09 15 41,2	— 11°53′,1	09 15 41,2 ± 0ˢ,75	— 11°53′,1 ± 0′,5
8	3C 219	09 17 50,7	+ 45°51′,7	09 17 50,0 ± 1ˢ	+ 45°51′,8 ± 0′,5
9	3C 236	09 58 57,4	+ 29°01′,6	09 58 57,7 ± 1ˢ	+ 29°00′,6 ± 0′,5
10	3C 254	11 11 56,5	+ 40°54′,0	11 11 55,6 ± 1ˢ	+ 40°54′,2 ± 0′,5
11	Vir.A	12 28 17,5	+ 12°40′,0	12 28 17,5 ± 0ˢ,75	+ 12°40′,1 ± 0′,5
12	3C 278	12 51 59,5	— 12°17′,6	12 51 59,4 ± 1ˢ	— 12°17′,5 ± 1′,0
13	3C 295	14 09 33,4	+ 52°26′,2	14 09 33,4 ± 1ˢ	+ 52°26′,2 ± 0′,5
14	3C 298	14 16 38,6	+ 06°41′,7	14 16 38,1 ± 1ˢ	+ 06°40′,5 ± 0′,5
15	3C 310	15 02 47,6	+ 26°12′,5	15 02 46,5 ± 1ˢ	+ 26°11′,9 ± 0′,5
16	3C 317	15 14 17,0	+ 07°12′,3	15 14 16,9 ± 1ˢ	+ 07°11′,4 ± 0′,5
17	3C 338	16 26 56,0	+ 39ʰ39′,5	16 26 56,1 ± 1ˢ	+ 39°38′,9 ± 0′,5
18	3C 386	18 36 12,6	+ 17°09′,1	18 36 09,6 ± 1ˢ	+ 17°11′,6 ± 0′,5
19	Cyg.A	19 57 44,4	+ 40°35′,8	19 57 44,4 ± 0ˢ,75	+ 40°35′,8 ± 0′,5
20	3C 433	21 21 30,7	+ 24°51′,6	21 21 28,4 ± 1ˢ	+ 24°50′,9 ± 0′,5
21	Cas.A	23 21 11,8	+ 58°32′,3	23 21 11,8 ± 0ˢ,75	+ 58°32′,3 ± 0′,5

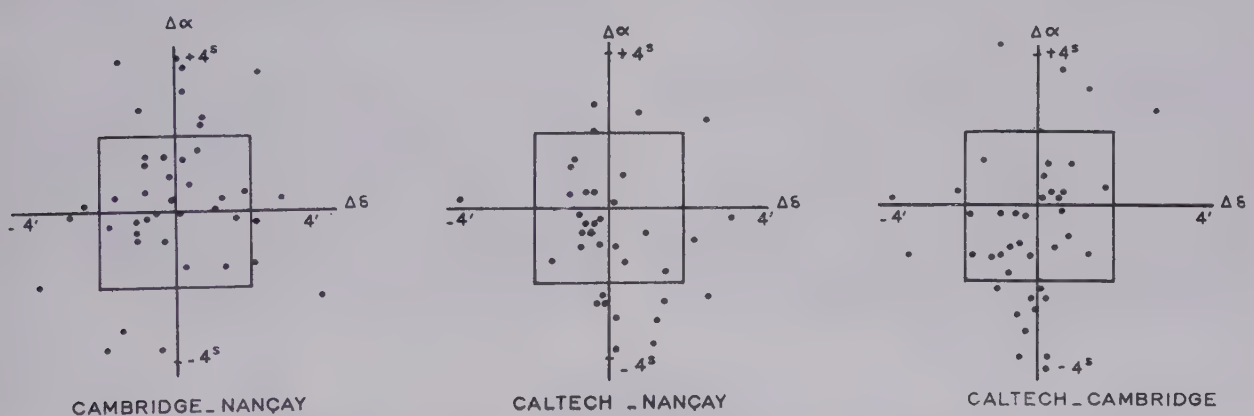


Fig. 21. — Comparaison entre les mesures de (*a*) Cambridge et de Nançay, (*b*) Caltech et de Nançay, (*c*) Caltech et de Cambridge. Les carrés ont pour côtés la somme des erreurs admises par les observateurs.

moyennes. On peut dire qu'en général les trois catalogues sont en assez bon accord. Il nous semble que en examinant les figures 21*c* et 21*b* un certain déplacement du centre du nuage des points vers les ascensions droites négatives est significative. Cela indiquerait une erreur systématique de l'ordre de — 1ˢ pour les observations de Caltech.

[Les centres des nuages des points ont les valeurs suivantes : (+ 0ˢ, 16 ; + 0′, 03) pour la figure 21*a* ; (— 0ˢ, 7 ; + 0′, 2) pour la figure 21*b* et (— 0ˢ, 8 ; — 0′, 2 pour la figure 21*c*].

c) *Identification de la radiosource Hercules A.*

Bien que nos mesures de position soient assez précises pour faire une étude systématique de l'identification des radiosources, nous ne l'avons pas encore entreprise car c'est un problème extrêmement délicat et en outre une telle étude exige

un temps considérable. Nos mesures nous ont, cependant, permis d'étudier le cas intéressant de la radiosource Hercules A. Cette source, bien qu'elle soit une des plus intenses, n'avait pas pu être identifiée sans ambiguïté en raison de l'imprécision des mesures de sa position radio.

Dans la région de la radiosource Hercules A, se trouvent trois galaxies dont le Tableau V donne les positions à l'époque 1950, 0, et la magnitude (fig. 22).

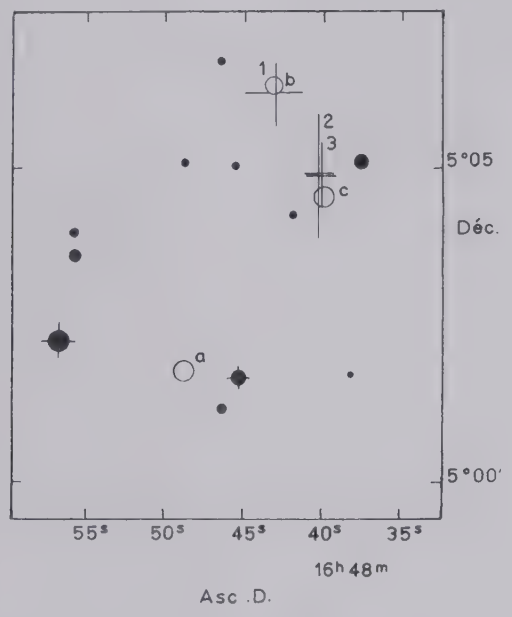


FIG. 22. — Région du ciel au voisinage de la radiosource Hercules A. Les croix 1, 2 et 3 représentent les positions mesurées à Caltech, Cambridge et Nançay.

La galaxie (*a*) a été étudiée par MINKOWSKI [18]. Elle a des caractéristiques très remarquables, semblables à celles de la galaxie Cygnus A. De plus, la position radio moins précise mesurée antérieurement coïncide bien avec la position de cette galaxie, ce qui a mené MINKOWSKI à l'identifier avec la radiosource Hercules A. Mais des mesures de position récemment faites ont tout à fait éliminé la possibilité de cette identification.

TABLEAU V

GALAXIE	(1950,9)	(1950,0)	m_{pg}
(a)	$16^h48^m49^s,0$	$+ 5°01',6$	17
(b)	$16^h48^m43^s,0$	$+ 5°06',3$	19,5
(c)	$16^h48^m40^s,0$	$+ 5°04',6$	18,5

La galaxie (*b*), une galaxie faible et apparemment normale, a été identifiée à Hercules A par ROBERTS, BOLTON et HARRIS [19], la position radio mesurée par eux étant de $16^h\ 48^m\ 43^s + 5°\ 06',\ 2$.

Mais ces auteurs eux-mêmes ont indiqué que la méthode adoptée par eux pour déterminer la position est susceptible d'entraîner des erreurs.

WILLIAMS, DEWHIRST et LESLIE [20] ont identifié à Hercules A la galaxie (*c*), d'après la position radio mesurée par le groupe de Cambridge. Mais les auteurs insistent sur le fait que ni l'identification de la galaxie (*b*) ni celle de la galaxie (*c*) ne doivent être considérées comme définitives, avant que l'incertitude sur la position radio ne soit éliminée.

Nos mesures de la position radio de la source Hercules A ($16^h\ 48^m\ 40^s,\ 3 \pm 1^s,\ 0 + 5°\ 04',\ 9 \pm 0',\ 5$) ont éliminé cette incertitude. La galaxie (*a*) et la galaxie (*b*) sont en dehors du domaine d'erreur de notre mesure. Par contre, la position de la galaxie (*c*) coïncide bien avec la position radio. Nous proposons donc que la galaxie (*c*) soit identifiée à la radiosource Hercules A.

CONCLUSION

Depuis peu, l'identification des radiosources avec des objets optiques a commencé à jouer un rôle très important, non seulement en Radio-Astronomie, mais même en Cosmologie. La position de la plupart des radiosources étant mal connue, les radiosources identifiées ne sont pas encore assez nombreuses. Comme nous l'avons vu, les principales mesures de position précises ont été effectuées par trois groupes — à Cambridge, au Caltech et par nous-mêmes à Nançay. Les résultats obtenus par les trois groupes sont en assez bon accord, d'autant plus que les instruments utilisés dans les trois cas sont très différents.

L'interféromètre à croix de Nançay nous a permis de mesurer la position et le flux de 112 radiosources. Grâce à un récepteur à multicanaux, il nous a été possible de déterminer la déclinaison de ces sources avec une précision beaucoup plus grande que les précisions atteintes antérieurement. La nouvelle méthode que nous avons utilisée pour mettre les antennes des deux réseaux en phase nous a permis de faire une détermination précise des

erreurs dans les deux réseaux. De plus, l'utilisation des multiplicateurs directs au lieu de la permutation de phase, pour brancher les deux réseaux en croix, nous a donné un appareil stable et sensible.

La précision atteinte sur la position de la plupart des 112 radiosources que nous avons mesurées étant suffisante, une étude systématique de leur identification doit sûrement donner de nouveaux résultats intéressants. N'ayant pas de temps à notre disposition pour aborder une telle étude, nous avons étudié l'identification d'une seule radiosource, la radiosource Hercules A. Grâce à nos mesures, cette source a pu enfin être identifiée sans ambiguïté.

Nous ne voulons par terminer cet exposé sans remercier E. J. Blum qui a conçu et réalisé l'appareil sur lequel ce travail a été effectué, et qui nous a constamment aidé de ses conseils et de ses critiques, sans lesquelles ce travail n'aurait pas été possible.

Nous remercions A. Boischot et J. Heidmann dont les conseils et les critiques nous ont été très utiles, ainsi que A. Gerbault, qui nous a aidé pendant les observations quotidiennes.

Tous les membres du service de Radioastronomie, auprès desquels nous avons trouvé un très grand esprit de coopération, trouveront ici l'expression de notre gratitude.

Qu'il me soit enfin permis de remercier M. le Pr A. Danjon, Directeur de l'Observatoire de Paris, qui a bien voulu nous y accueillir, et M. J. F. Denisse, Astronome Titulaire, qui a dirigé nos recherches et nous a constamment encouragé.

Manuscrit reçu le 3 *octobre* 1962.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Edge D. O., Shakeshaft J. R., McAdam W. B., Baldwin J. E. and Archer, S. 1959, *Mem. R. A. S.*, **68**, 37.

[2] Mills B. Y., Slee O. B. and Hill E. R., 1958, *Aust. J. Phys.*, **11**, 360.

[3] Elsmore B., Ryle M., Leslie P. R. R., 1959, *Mem. R. A. S.*, **68**, 61.

[4] Harris D. E., Roberts J. A., 1960, *Obs. Cal. Inst. Tech., Radio Observatory*, **1**.

[5] Blum E. J., Boischot A., Ginat M., 1957, *Ann. Astr.*, **20**, 155.

[6] Malinge A. M., Blum E. J., Ginat M. et Parise M., 1959, *C. R.*, **249**, 2009.

[7] Boischot A., 1958, *Ann. Astr.*, **21**, 27.

[8] Mills B. Y., Little A. G., 1953, *Aust. J. Phys.*, 272.

[9] Christiansen W. N. et Mathewson D. S., 1958, *P. I. R. E.*, **46**, 127.

[10] Blum E. J., 1961, *Ann. Astr.*, **24**. 359.

[11] Blum E. J., 1959, *Ann. Astr.*, **22**. 139.

[12] Swarup G., Yang K. S., 1961, *Trans. P. A. G. P.*, **9**, 75.

[13] Blum E. J., Delannoy J., Joshi M., 1961, *C. R.*, **252**, 2517.

[14] Arsac J., 1956, *Rev. Opt.*, **35**, 65, 136, 396.

[15] Komesaroff M. M., 1960, *Aust. J. Phys.*, **13**, 153.

[16] Erickson W. G., 1961, Convair Sci. Research Lab., Research Mem.

[17] Elsmore B., Communication privée.

[18] Minkowski R., 1957, I. A. U. Symposium IV, Radioastronomy, 107.

[19] Roberts J. A., Bolton J. G., Harris D. E., 1960, *Publ. A. S. P.*, **72**, 5.

[20] Williams P. J. S., Dewhirst D. W., Leslie P. R. R., 1961, *The Observatory*, **81**, 64.

Imprimerie Taffin-Lefort, à Lille (France). — *Published in France.*

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Théories des spectres des éruptions à la surface du disque solaire

Vu et approuvé :
Paris, le 28 novembre 1962
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
M. Zamansky.

Vu et permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie de Paris,
Jean Roche.